

***ARICT LEARNING: MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL
BERBASIS INTEGRASI APOS DAN KONSEP
MATEMATISASI RME UNTUK MENINGKATKAN
COMPUTATIONAL THINKING MAHASISWA***

DESERTASI

**TRISNAWATI
2333031004**



**PROGRAM STUDI DOKTOR PENDIDIKAN
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

***ARICT LEARNING: MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL
BERBASIS INTEGRASI APOS DAN RME UNTUK
MENINGKATKAN COMPUTATIONAL THINKING
MAHASISWA***

Oleh

TRISNAWATI

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

DOKTOR PENDIDIKAN

Pada

Program Studi Doktor Pendidikan

Fakultas Pendidikan dan Ilmu Keguruan Universitas Lampung



FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

**PERNYATAAN KEASLIAN
TULISAN DAN PUBLIKASI ISI DISERTASI**

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Disertasi yang berjudul **“ARICT LEARNING: MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL BERBASIS INTEGRASI APOS DAN KONSEP MATEMATISASI RME UNTUK MENINGKATKAN COMPUTATIONAL THINKING MAHASISWA”** ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiat, serta tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber acuan serta daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terdapat plagiat dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi disertasi pada jurnal atau forum ilmiah harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai *author* dan FKIP Universitas Lampung sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya satu semester atau enam bulan sejak pengesahan disertasi saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan disertasi ini maka Program Studi Doktor Pendidikan FKIP Universitas Lampung berhak mempublikasikan pada jurnal ilmiah yang dituju atau dikelola oleh Program Studi Doktor Pendidikan FKIP Universitas Lampung. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, April 2026
Yang Membuat Pernyataan



TRISNAWATI
NPM 2333031004

ABSTRAK

ARICT LEARNING: MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL BERBASIS INTEGRASI APOS DAN KONSEP MATEMATISASI RME UNTUK MENINGKATKAN COMPUTATIONAL THINKING MAHASISWA

Oleh

TRISNAWATI

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pembelajaran digital berbasis integrasi teori APOS (*Action–Process–Object–Schema*) dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* (RME) guna meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* (CT) mahasiswa pada pembelajaran Aljabar Linear. Latar belakang penelitian ini didasarkan pada masih rendahnya kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa dalam mengidentifikasi masalah, mengenali pola, melakukan abstraksi, menyusun langkah penyelesaian secara algoritmik, serta mengevaluasi solusi penyelesaian masalah matematis. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh pembelajaran yang cenderung berorientasi pada penyelesaian prosedural rutin, belum mengaitkan konsep matematika secara optimal dengan konteks nyata, serta pemanfaatan teknologi digital yang masih terbatas pada penyampaian materi dan pengumpulan tugas. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) melalui tahapan studi pendahuluan, pengembangan model, validasi, dan uji coba. Model yang dikembangkan adalah ARICT (*Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions, dan Transfer and Reflect*) yang diimplementasikan dalam pembelajaran berbasis *Learning Management System* (LMS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ARICT memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif. Model ini mampu meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa yang ditunjukkan melalui peningkatan skor *N-Gain* pada seluruh aspek CT serta didukung oleh hasil uji statistik yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan model pembelajaran digital konstruktivistik yang terintegrasi untuk meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi mahasiswa.

Kata kunci: *Computational Thinking*, APOS, RME, pembelajaran digital, ARICT

ABSTRACT

ARICT LEARNING: A DIGITAL LEARNING MODEL BASED ON THE INTEGRATION OF APOS AND RME MATHEMATIZATION CONCEPT TO IMPROVE STUDENTS' COMPUTATIONAL THINKING

By

TRISNAWATI

This study aims to develop a digital learning model based on the integration of APOS theory (*Action–Process–Object–Schema*) and the mathematization concept of *Realistic Mathematics Education* (RME) to improve students' *Computational Thinking* (CT) skills in Linear Algebra learning. The background of this study is based on the relatively low level of students' *Computational Thinking* abilities in identifying problems, recognizing patterns, performing abstraction, constructing algorithmic solution steps, and evaluating mathematical problem-solving solutions. These conditions are influenced by learning practices that tend to emphasize routine procedural problem-solving, have not optimally connected mathematical concepts with real-world contexts, and utilize digital technology mainly for material delivery and assignment submission. This study employed a *Research and Development* (R&D) approach through the stages of preliminary study, model development, validation, and field testing. The developed model, namely ARICT (*Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions, and Transfer and Reflect*), was implemented through a *Learning Management System* (LMS)-based learning environment. The results showed that the ARICT model met the criteria of validity, practicality, and effectiveness. The model was able to improve students' *Computational Thinking* skills, as indicated by the increase in *N-Gain* scores across all CT aspects and supported by statistical test results showing significant differences between the experimental and control classes. This study provides both theoretical and practical contributions to the development of an integrated constructivist digital learning model for enhancing students' higher-order thinking skills.

Keywords: Computational Thinking, APOS, RME, digital learning, ARICT

**ARICT LEARNING: MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL
BERBASIS INTEGRASI APOS DAN KONSEP
MATEMATISASI RME UNTUK MENINGKATKAN
COMPUTATIONAL THINKING MAHASISWA**

DISERTASI

Oleh:

TRISNAWATI

NPM 2333031004

Komisi Pembimbing	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Promotor	Prof. Dr. Sugeng Sutiarmo, M.Pd. NIP 196909141994031002		07 April 2026
Kopromotor	Dr. Rangga Firdaus, M. Kom. NIP 197410102008011015		07 April 2026

Telah dinyatakan memenuhi syarat pada tanggal 07 April 2026

**Koordinator Program Studi Doktor Pendidikan
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung,**



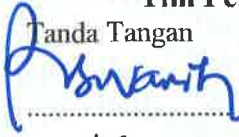




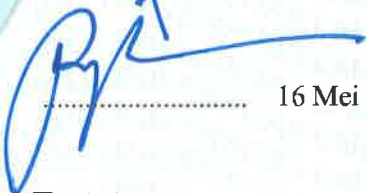
Prof. Hasan Hariri, S.Pd., M.B.A., Ph.D.

NIP 196705212000121001

**ARICT LEARNING: MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL
BERBASIS INTEGRASI APOS DAN KONSEP
MATEMATISASI RME UNTUK MENINGKATKAN
COMPUTATIONAL THINKING MAHASISWA**

DISERTASI

**Oleh:
Trisnawati
NPM 2333031004**


		Tim Penguji	
Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Dr. Riswandi, M.Pd. NIP 19760808 200912 1 001		16 Mei 2026
Sekretaris	Prof. Hasan Hariri, S.Pd., M.B.A, Ph.D. NIP 19670521 200012 1 001		16 Mei 2026
Anggota	Prof. Dr. Bambang Sri Anggoro, M.Pd. NIP 19840228 200604 1 004		16 Mei 2026
	Dr. Tina Yunarti, M.Si. NIP 19660610 199111 2 001		16 Mei 2026
	Prof. Dr. Sugeng Sutiarmo, M.Pd. NIP 19690914 199403 1 002		16 Mei 2026
	Dr. Rangga Firdaus, M. Kom. NIP 19741010 200801 1 015		16 Mei 2026

**Telah dipertahankan di depan penguji pada Sidang Tertutup
Dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 16 Mei 2026**

Dekan FKIP UNILA,


Dr. Alif Maydiantoro, M.Pd.
NIP 19870504 201404 1 001







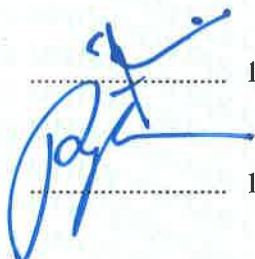
Koordinator Program Studi Doktor Pendidikan,


Prof. Hasan Hariri, S.Pd., M.B.A, Ph.D.
NIP 19670521 200012 1 001

**ARICT LEARNING: MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL
BERBASIS INTEGRASI APOS DAN KONSEP
MATEMATISASI RME UNTUK MENINGKATKAN
COMPUTATIONAL THINKING MAHASISWA**


DISERTASI

**Oleh:
Trisnawati
NPM 2333031004**

		Tim Penguji	
Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Prof. Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. NIP 19740705 200003 1 001		10 Juni 2026
Sekretaris	Prof. Hasan Hariri, S.Pd., M.B.A, Ph.D. NIP 19670521 200012 1 001		10 Juni 2026
Anggota	Prof. Dr. Bambang Sri Anggoro, M.Pd. NIP 19840228 200604 1 004		10 Juni 2026
	Dr. Riswandi, M.Pd. NIP 19760808 200912 1 001		10 Juni 2026
	Dr. Tina Yunarti, M.Si. NIP 19660610 199111 2 001		10 Juni 2026
	Prof. Dr. Sugeng Sutiarmo, M.Pd. NIP 19690914 199403 1 002		10 Juni 2026
	Dr. Rangga Firdaus, M. Kom. NIP 19741010 200801 1 015		10 Juni 2026

**Telah dipertahankan di depan penguji pada Sidang Terbuka
Dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 10 Juni 2026**


Dekan FKIP UNILA,
Dr. Albert Maxiliantoro, M.Pd.
NIP 19870504 201404 1 001


Direktur Pascasarjana,
Prof. Dr. Murhadi, M.Si.
NIP 19640326 198902 1 001

RIWAYAT HIDUP



TRISNAWATI lahir pada 26 November 1988 di Candimulyo, Kabupaten Magelang. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari pasangan Bapak Sumadi dan Ibu Isnaeni (Almh). Saat ini, penulis berprofesi sebagai dosen Prodi Sistem Informasi, FTIKOM, Institut Bakti Nusantara.

Riwayat pendidikan formal penulis diawali di SD Negeri Podosoko dan diselesaikan pada tahun 2001, SMP N 1 Candimulyo lulus pada 2004, dan SMAN 1 Magelang lulus pada 2007. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang pendidikan tinggi di Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) dan lulus pada 2011. Pada tahun 2012, Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang S2 Program Magister Pendidikan Matematika di perguruan tinggi yang sama dan lulus pada 2014. Sebagai bentuk komitmen dalam pengembangan keilmuan di bidang pendidikan, pada tahun 2023, terdaftar sebagai mahasiswa S3 Program Doktor Pendidikan di FKIP Universitas Lampung.

Dalam proses penyelesaian studi doktoralnya, penulis telah menghasilkan sejumlah keluaran akademik, yaitu sebuah buku ber-ISBN, 4 HKI, publikasi artikel pada prosiding Seminar Internasional, Jurnal nasional terakreditasi SINTA 2 dan SINTA 3, serta Jurnal Internasional Bereputasi Terindeks Scopus Q3 dan WoS (*Web of Science*). Dengan capaian tersebut, peneliti berharap dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang pendidikan dan Pendidikan Matematika. Penulis dapat dihubungi melalui alamat surel: trisnawatistmikpsw@gmail.com.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya. Sholawat dan Salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW. Dengan kerendahan hati dan rasa syukur, ku persembahkan sebuah karya ini sebagai tanda cinta dan sayangku kepada:

1. Suamiku tercinta Ari Wibowo, S.E., M.M., dan anakku tersayang Adzkiaputri Nailal Farah dan Muhammad Athar Asyafiq, yang senantiasa menjadi sumber kekuatan, inspirasi, dan semangat dalam setiap langkah perjuangan. Kehadiran serta kasih sayang kalian menjadi alasan untuk terus bertahan dan berusaha.
2. Kedua orang tuaku Bapak Sumadi, dan Ibu Isnaeni (Almh) yang telah membesarkan dengan penuh cinta, kesabaran, dan pengorbanan tanpa batas. Terima kasih atas doa yang tak pernah putus, bimbingan, serta kasih sayang yang selalu mengiringi setiap perjalanan hidupku. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat, keberkahan, dan kebahagiaan dunia serta akhirat kepada Bapak dan Ibu.
3. Kedua mertuaku Bapak Ngatman (Alm) dan Ibu Mardinem yang selalu mendoakan semoga Allah SWT selalu meridhoi Bapak dan Ibu dengan berlimpah keberkahan, keselamatan, kebahagiaan dunia dan akhirat.
4. Pamanku Bapak Suparno, yang dengan ketulusan hati mendampingi dan membimbing penulis sepanjang perjalanan belajar. Terima kasih atas setiap nasihat, motivasi, dan doa yang tidak pernah berhenti. Sosok beliau bukan hanya menjadi penyemangat, tetapi juga menjadi salah satu alasan terkuat bagi penulis untuk melangkah hingga jenjang pendidikan doktoral ini.
5. Kedua adikku Dariyati, S. E, S.Pd., dan Tri Widayati, S. Kom., yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam setiap proses yang dijalani. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan, kesehatan, dan kesuksesan dalam setiap langkah kehidupan.

6. Kepada Almamater Universitas Lampung, sebagai tempat penulis menimba ilmu, mengembangkan diri, dan membangun fondasi keilmuan yang menjadi bekal dalam perjalanan akademik dan kehidupan ke depan.

MOTTO

وَصَلَ الدَّرْبِ عَلَى سَارٍ وَمَنْ ظَفِرَ، صَبَرَ وَمَنْ وَجَدَ، جَدَّ مَنْ

Siapa yang bersungguh-sungguh akan memperoleh, siapa yang bersabar akan menang, dan siapa yang istiqamah di jalannya akan sampai pada tujuannya.

SANWACANA

Allhamdulillahirobbil'aalamin,

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan penyusunan disertasi ini. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis disertasi yang berjudul “***ARICT Learning: Model Pembelajaran Digital Berbasis Integrasi APOS dan Konsep Matematisasi RME untuk Meningkatkan Computational Thinking Mahasiswa***” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor Pendidikan pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari bantuan dan pendukung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng., Rektor Universitas Lampung
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd., Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Hasan Hariri, S.Pd., M.B.A., Ph.D., Koordinator Program Studi Doktor Pendidikan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan penulisan disertasi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Sugeng Sutiarmo, M.Pd., Promotor disertasi yang dengan penuh kesabaran dan ketelitian telah memberikan bimbingan, arahan, serta pemikiran-pemikiran ilmiah yang mendalam dalam setiap tahapan penyusunan disertasi ini.
6. Bapak Dr. Rangga Firdaus, M. Kom., Kopromotor disertasi yang senantiasa memberikan masukan yang konstruktif, arahan yang sistematis, serta dukungan yang berkelanjutan dalam proses penyempurnaan disertasi ini.

7. Ibu Dr. Tina Yunarti, M.Si., Pembahas dan Penguji yang telah memberikan masukan, kritik konstruktif, serta saran yang mendalam dan komprehensif dalam setiap tahap penyempurnaan disertasi ini
8. Bapak dan Ibu validator Ahli: Prof. Dr. Bambang Sri Anggoro, M.Pd. (UIN Raden Intan Lampung), Dr. Ir. Nurul Hidayat, M.Kom. (Universitas Jenderal Soedirman), Dr. Caswita, M.Si. (Universitas Lampung), Dr. Nurhanurawati, M.Pd. (Universitas Lampung), Dr. Agus Irawan, M.Si (Institut Teknologi Sumatera), terima kasih atas saran dan masukannya .
9. Bapak/Ibu dosen dan staf di Program Studi S3 Doktor Pendidikan FKIP Universitas Lampung yang telah membagikan pengetahuan, pengalaman, dan wawasan yang mendalam selama perkuliahan.
10. Teman-teman angkatan 2023 serta sahabat seperjuangan Ibu Dr. Lili Puspita Rahayu, M.Si., Ibu Dr. Rona Romadhianti, M.Pd., Ibu Sri Latifah M.Pd., dan Ibu Winda Annisha Bertiliya, M.Pd. atas kebersamaan dan inspirasinya. Semoga kesuksesan di masa mendatang kebersamaan kita semua.
11. Bapak Dr. Fauzi, M. Kom, M.E., AK., CA., Rektor Institut Bakti Nusantara atas kesempatan dan kepercayaan untuk melanjutkan studi doktoral, serta motivasi dalam pengembangan karier akademik yang mendorong peningkatan kualitas diri.
12. Bapak Didi Susianto, M. Kom., Wakil Rektor 1 dan Bapak Dr. Miswan Gumanti, M.M., Wakil Rektor 2 Institut Bakti Nusantara yang telah memberikan perhatian, arahan, serta motivasi yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi.
13. Bapak Muhammad Muslihudin, M.TI., Dekan FTIKOM Institut Bakti Nusantara yang telah memberikan dukungan dan kemudahan dalam pelaksanaan tugas dan studi penulis, sehingga proses penyelesaian disertasi ini dapat berjalan dengan baik.
14. Kaprodi Sistem Informasi Bapak Suyono, M.TI. dan Kaprodi Manajemen Informatika Ibu Ida Ayu Putu Anggi S., M.H yang telah memberi semangat dan motivasi dalam menyelesaikan studi.
15. Rekan-rekan yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, yaitu Ibu Novi Ayu K.D., M.Pd., Ibu Siti Mukodimah, M.T.I., dan Ibu Sri Ipnuwati, M.Kom., atas bantuan, kerja sama, serta kontribusi yang

diberikan selama proses penelitian berlangsung, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

16. Semua pihak yang telah berjasa dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas segala kontribusinya.

Semoga hasil penelitian ini dapat berguna serta bermanfaat bagi kita semua. Peneliti mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuannya, semoga Allah SWT memberikan kebahagiaan serta keselamatan dunia dan akhirat atas semua yang telah diberikan.

Bandar Lampung, 2026

TRISNAWATI
NPM 2333031004

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RIWAYAT HIDUP	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xii
SANWACANA.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	13
C. Tujuan Penelitian	14
D. Manfaat Penelitian	14
E. Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan	16
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR	
A. Kajian Pustaka	17
1. Teori Konstruktivisme	17
2. Teori Kognitivisme	20
3. Teori Pemrosesan Informasi	22
4. <i>Computational Thinking</i> (CT).....	24
5. Pembelajaran Digital.....	28
6. Teori APOS.....	33
7. <i>Realistic Mathematics Education</i> (RME)	37
8. Aljabar Linier dan Konsep Vektor.....	40
9. Integrasi Teori dalam Desain Pembelajaran Matematika	42
10. Metode dan Strategi Pembelajaran untuk Meningkatkan CT ..	47

B. Penelitian yang Relevan.....	51
C. Definisi Konseptual dan Operasional	54
1. Definisi Konseptual	54
2. Definisi Operasional	54
D. Kerangka Berpikir.....	55
E. Hipotesis Penelitian	59
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Pendekatan Penelitian	60
B. Desain Penelitian	61
C. Waktu, Tempat dan Subyek Penelitian	65
1. Waktu Penelitian	65
2. Tempat Penelitian	66
3. Subyek Penelitian.....	67
D. Prosedur Penelitian	68
1. Studi Pendahuluan	68
2. Tahap Pengembangan Produk.....	70
3. Tahap Pengujian.....	72
4. Diseminasi Produk	75
E. Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian.....	76
1. Teknik Pengumpulan Data.....	76
2. Instrumen Penelitian	78
F. Teknik Analisis Data.....	87
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	99
1. Karakteristik Model Pembelajaran.....	99
2. Kevalidan Model Pembelajaran	133
3. Kepraktisan Model Pembelajaran	145
4. Keefektifan Model Pembelajaran.....	147
B. Pembahasan.....	180
1. Karakteristik Model Pembelajaran ARICT.....	180
2. Kevalidan Model Pembelajaran ARICT	190

3. Kepraktisan Model Pembelajaran ARICT	200
4. Keefektifan Model Pembelajaran ARICT.....	202
5. Diseminasi.....	205
6. Kontribusi Penelitian dan Kebaruan	206
7. Keunggulan dan Keterbatasan Penelitian	211
BAB V KESIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN	
A. Kesimpulan	216
B. Implikasi	217
C. Saran	219
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Penelitian yang Relevan.....	51
Tabel 2. Daftar Kelas Penelitian	68
Tabel 3. Daftar Validator	72
Tabel 4. Skema Rancangan Uji Coba Lapangan	74
Tabel 5. Klasifikasi Tingkat <i>Computational Thinking</i> Mahasiswa	75
Tabel 6. Kisi-kisi Angket Analisis Kebutuhan	80
Tabel 7. Kisi-kisi tes awal <i>Computational Thinking</i>	80
Tabel 8. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Model Pembelajaran	81
Tabel 9. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Model Pembelajaran	82
Tabel 10. Kisi- Kisi Lembar Observasi Pembelajaran.....	83
Tabel 11. Kisi-Kisi Angket Respon Mahasiswa	84
Tabel 12. Kisi-Kisi Instrumen Tes <i>Computational Thinking</i>	84
Tabel 13. Ketekaitan Data dengan Instrumen Penelitian.....	85
Tabel 14. Kriteria Validitas Model	89
Tabel 15. Klasifikasi Koefisien Korelasi Uji Validitas.....	90
Tabel 16. Klasifikasi Reliabilitas	91
Tabel 17. Kriteria Kepraktisan Model	93
Tabel 18. Kriteria N-Gain	95
Tabel 19. Persepsi Dosen dan Mahasiswa Terhadap Pembelajaran Digital	102
Tabel 20. Hasil Pengukuran Awal <i>Computational Thinking</i> Mahasiswa	103
Tabel 21. Aktivitas Dosen dan Mahasiswa dalam Model ARICT.....	125
Tabel 22. Hasil Uji Validitas Model oleh Validator Materi	136
Tabel 23. Rekapitulasi Saran Perbaikan Dari Validator Materi.....	136
Tabel 24. Hasil Uji Validitas Media Pembelajaran oleh Validator Media	138
Tabel 25. Rekapitulasi Saran Perbaikan Validator Media dan Hasil Revisi....	138
Tabel 26. Hasil Uji Validitas RPS	140
Tabel 27. Rekapitulasi Saran Perbaikan Validator pada RPS.....	140
Tabel 28. Hasil Rekapitulasi Uji LKM	141
Tabel 29. Rekapitulasi Saran Perbaikan dan Hasil Revisi LKM	141
Tabel 30. Rekap Hasil Validitas Instrumen	142

Tabel 31. Rekapitulasi Perbaikan Instrumen Keterlaksanaan Model	143
Tabel 32. Hasil Uji Validitas Instrumen Tes Berpikir Kreatif.....	145
Tabel 33. Uji Reliabilitas Instrumen Tes Berpikir Kreatif.....	146
Tabel 34. Rekapitulasi Hasil Uji Coba Terbatas.....	147
Tabel 35. Rekapitulasi Respon Mahasiswa.....	160
Tabel 36. Rekapitulasi Respon Dosen	160
Tabel 37. Rekapitulasi Hasil Observasi	161
Tabel 38. Data Kemampuan Awal <i>Computational Thinking</i> Mahasiswa.....	162
Tabel 39. Data Kemampuan Akhir <i>Computational Thinking</i> Mahasiswa.....	163
Tabel 40. Rekapitulasi Nilai Pretest dan Posttest	164
Tabel 41. Data Gain Kemampuan <i>Computational Thinking</i> Mahasiswa.....	166
Tabel 42. Nilai Rata-Rata <i>Computational Thinking</i> Aspek Dekomposisi	175
Tabel 43. Nilai Rata-Rata <i>Computational Thinking</i> Aspek Pengenalan Pola..	175
Tabel 44. Nilai Rata-Rata <i>Computational Thinking</i> Aspek Abstraksi.....	176
Tabel 45. Nilai Rata-Rata <i>Computational Thinking</i> Aspek Solusi Algoritmik	177
Tabel 46. Nilai Rata-Rata <i>Computational Thinking</i> Aspek Evaluasi	176
Tabel 47. Pengulangan Tugas Kesiapan Belajar Setiap Pertemuan.....	179
Tabel 48. Struktur Tahapan ARICT dan Dasar Teoretisnya.....	182
Tabel 49. Integrasi APOS dan RME dalam Sintaks ARICT	186
Tabel 50. Pemetaan Fase ARICT, Aktivitas Belajar, dan Dimensi CT.....	190

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Kata Kunci Penelitian Pendidikan Matematika	11
Gambar 2. Integrasi teori Piaget, APOS, dan RME dalam kerangka kerja konstruktivisme	43
Gambar 3. Kerangka Pikir Penelitian	58
Gambar 4. Model Penelitian dan Pengembangan	62
Gambar 5. Hasil Pemetaan Studi Literatur	101
Gambar 6. Peran Teori dalam Pengembangan Model	112
Gambar 7. Model Konseptual Pembelajaran Digital Terstruktur	116
Gambar 8. Model Konseptual Pembelajaran Digital Terstruktur pada LMS ..	117
Gambar 9. Landasan Teoretis Sintaks Model ARICT	118
Gambar 10. Model Operasional ARICT	121
Gambar 11. Komponen Model ARICT	133
Gambar 12. Tahap <i>Activate Context</i> dalam Model Pembelajaran	151
Gambar 13. Diskusi Mahasiswa pada Tahap <i>Respond with Ideas</i>	153
Gambar 14. Representasi Vektor dengan GeoGebra	155
Gambar 15. Implementasi Solusi Vektor Menggunakan GeoGebra	157
Gambar 16. Refleksi dan Transfer Pemahaman Mahasiswa.....	159
Gambar 17. Data Perbandingan Hasil Pretest dan Posttest.....	165
Gambar 18. Data Hasil <i>N-Gain</i>	167
Gambar 19. Peningkatan Pada Aspek Dekomposisi Masalah	170
Gambar 20. Peningkatan Pada Aspek Pengenalan Pola	171
Gambar 21. Peningkatan Pada Aspek Abstraksi.....	172
Gambar 22. Peningkatan Pada Aspek Penyusunan Solusi Algoritmik.....	173
Gambar 23. Peningkatan Pada Aspek Evaluasi	174
Gambar 24. Tampilan Tugas Kesiapan Belajar Mahasiswa pada LMS	178
Gambar 25. Tampilan Perolehan Nilai Tugas Kesiapan Belajar Mahasiswa ..	178
Gambar 26. Rekapitulasi Tugas Kesiapan Belajar Mahasiswa pada LMS	179
Gambar 27. Integrasi RME dan APOS dalam Sintaks ARICT	187

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Rencana Pembelajaran Semester (RPS)	237
Lampiran 2. Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)	270
Lampiran 3. Panduan Penggunaan LMS bagi Dosen	277
Lampiran 4. Panduan Penggunaan LMS bagi Mahasiswa.....	286
Lampiran 5. Lembar Angket Penilaian Validator	296
Lampiran 6. Lembar Observasi Keterlaksanaan Model ARICT.....	306
Lampiran 7. Data Hasil Observasi Pembelajaran Mahasiswa	252
Lampiran 8. Angket Respon Mahasiswa	294
Lampiran 9. Data Hasil Respon Mahasiswa	296
Lampiran 10. Instrumen <i>Computational Thinking</i> (CT) Mahasiswa.....	298
Lampiran 11. Alternatif Penyelesaian dan Pedoman Penskoran Instrumen CT300	
Lampiran 12. Data Kemampuan Awal CT Mahasiswa	303
Lampiran 13. Data Kemampuan Akhir CT Mahasiswa.....	305
Lampiran 14. Hasil Perhitungan <i>N-Gain</i> Kemampuan CT.....	307
Lampiran 15. Hasil Penilaian Kemajuan Belajar Kemampuan CT Mahasiswa	309
Lampiran 16. Penilaian Kesiapan Belajar Tiap Pertemuan	311
Lampiran 17. Pengolahan Data Kemampuan Awal CT Mahasiswa.....	312
Lampiran 18. Pengolahan Data Kemampuan Akhir Kemampuan CT.....	314
Lampiran 19. Pengolahan Data Hasil <i>N-Gain</i> Kemampuan CT Mahasiswa...	316
Lampiran 20. Dokumentasi Penelitian.....	327
Lampiran 21. Ouput Desertasi	328

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pendidikan tinggi menghadapi tantangan besar dalam memastikan mahasiswa memiliki keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, literasi digital, serta kemampuan memecahkan masalah kompleks di tengah dunia yang semakin dinamis dan berbasis teknologi (Kivunja, 2015; UNESCO, 2022). Dalam konteks ini, *Computational Thinking* (CT) menjadi semakin relevan karena mencakup aspek-aspek yang mendukung keterampilan tersebut. Kemampuan CT ini tidak hanya berfokus pada kemampuan pemrograman, tetapi juga mencakup cara berpikir analitis dan sistematis dalam memecahkan masalah, yang sangat penting dalam memahami konsep-konsep matematika abstrak seperti vektor, matriks, dan transformasi linier (Barr & Stephenson, 2011). Dalam konteks ini, kemampuan CT membantu mahasiswa mengurai konsep-konsep yang kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih mudah dipahami. Namun, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa masih menghadapi kesulitan dalam memahami konsep-konsep abstrak tersebut. Farida and Indah (2021) melaporkan bahwa 78% mahasiswa kesulitan memahami konsep-konsep seperti vektor dan transformasi linier, yang dianggap sulit karena sifatnya yang abstrak dan kurang terhubung dengan aplikasi dunia nyata. Penelitian oleh (Prensky, 2001) juga menunjukkan bahwa banyak mahasiswa kesulitan dalam menghubungkan teori matematika dengan konteks praktis, yang mengindikasikan pentingnya penerapan strategi pembelajaran yang lebih relevan untuk meningkatkan pemahaman abstraksi tersebut.

Pentingnya pengembangan keterampilan abad ke-21 dalam pendidikan tinggi juga sejalan dengan agenda global *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan 4: Pendidikan Berkualitas (*Quality Education*) yang menekankan penyediaan pendidikan yang inklusif, adil, dan berkualitas serta mendorong pembelajaran sepanjang hayat (UNESCO, 2022; United Nations, 2015). Dalam kerangka ini, peningkatan kualitas pendidikan tidak hanya berfokus pada akses, tetapi juga pada penguatan kompetensi esensial seperti keterampilan berpikir kritis, literasi digital, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah

yang relevan dengan dinamika abad ke-21. Hal ini menunjukkan bahwa pendidikan tinggi dituntut untuk tidak hanya mentransfer pengetahuan, tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi yang adaptif terhadap perubahan teknologi dan kompleksitas global. Pengembangan CT menjadi semakin relevan sebagai pendekatan strategis dalam membekali mahasiswa dengan kemampuan berpikir analitis, sistematis, dan berbasis algoritma, sehingga mampu menghadapi tantangan global berbasis teknologi serta berkontribusi dalam pembangunan berkelanjutan.

Kemampuan CT mencakup berbagai keterampilan penting, termasuk kemampuan untuk memecahkan masalah secara sistematis, mengenali pola, dan merancang algoritma untuk menyelesaikan permasalahan dalam berbagai konteks. Kemampuan ini menjadi landasan yang sangat penting bagi keberhasilan akademik dan profesional mahasiswa di era digital, terutama di bidang teknologi dan analitik data, dimana kemampuan CT dapat meningkatkan daya saing mahasiswa di pasar kerja (Barr & Stephenson, 2011). Mahasiswa yang memiliki kemampuan CT yang baik lebih unggul dalam merancang solusi berbasis algoritma untuk masalah kompleks. Selain mengasah pola pikir logis dan analitis, CT juga mendorong kreativitas dalam menemukan solusi inovatif, memperkuat kolaborasi, serta meningkatkan literasi digital dalam berbagai bidang. CT tidak hanya relevan dalam ilmu komputer, tetapi juga berperan penting dalam disiplin lain, seperti pendidikan, sains, ekonomi, teknik, dan ilmu sosial. Kemampuan ini memungkinkan individu untuk memecahkan masalah secara sistematis, menganalisis data secara kritis, serta mengembangkan pola pikir adaptif dalam menghadapi tantangan kompleks di berbagai sektor. Dengan demikian, CT menjadi salah satu kompetensi utama dalam membekali mahasiswa agar lebih siap menghadapi era digital yang terus berkembang. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa banyak mahasiswa yang kesulitan dalam menguasai keterampilan ini. (González-Pizarro et al., 2024) menunjukkan bahwa kemampuan *Computational Thinking* (CT) mahasiswa STEM masih beragam dan belum berkembang secara merata, sehingga perlu diperkuat melalui pembelajaran yang lebih kontekstual dan terarah di pendidikan tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan Choi and Choi (2024) yang menegaskan bahwa kemampuan CT berkaitan langsung dengan efektivitas pemecahan masalah dalam

pembelajaran pemrograman, terutama dalam merancang algoritma untuk permasalahan yang kompleks dan memiliki tingkat abstraksi tinggi. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa pengembangan CT secara sistematis sangat penting untuk meningkatkan kualitas kemampuan algoritmik mahasiswa.

Penelitian pendahuluan yang dilakukan pada 73 mahasiswa semester pertama Program Studi Sistem Informasi dan Prodi Manajemen Informatika Institut Bakti Nusantara memberikan gambaran kemampuan CT mahasiswa dalam pembelajaran materi vektor. Penilaian dilakukan melalui lima aspek utama CT, yaitu Dekomposisi, Pengenalan Pola, Abstraksi, Solusi Algoritmik, dan evaluasi menggunakan soal berbasis logis yang relevan dengan aplikasi vektor. Salah satu soal dalam penelitian ini mengajukan skenario sistem navigasi drone yang melibatkan perpindahan vektor, penghindaran rintangan seperti angin, serta pemeriksaan keselarasan jalur dengan drone lain. Soal ini dirancang untuk mengukur kemampuan Computational Thinking mahasiswa melalui beberapa komponen, yaitu dekomposisi dengan memecah permasalahan navigasi menjadi bagian-bagian seperti perpindahan dan rintangan, pengenalan pola dengan menggeneralisasi bentuk jalur drone baru, abstraksi dengan memfokuskan pada informasi penting berupa arah dan besar vektor, solusi algoritmik melalui penyusunan langkah sistematis untuk memeriksa keselarasan lintasan, serta evaluasi dengan menilai efektivitas dua metode penghindaran angin berdasarkan ketepatan dan efisiensi jalur.

Hasil analisis menunjukkan bahwa aspek Abstraksi, Dekomposisi, dan Solusi Algoritmik memiliki skor rata-rata masing-masing 2,4, 2,7, dan 2,5 pada skala 1 hingga 4, di mana skor yang lebih rendah mencerminkan tingkat pemahaman yang masih terbatas. Temuan ini mengindikasikan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam menyaring elemen inti dari konsep vektor, memecah permasalahan ke dalam bagian-bagian yang lebih sederhana, serta menyusun langkah penyelesaian secara sistematis. Pada aspek abstraksi, mahasiswa cenderung belum mampu mengaitkan konsep vektor dengan konteks nyata, misalnya dalam navigasi drone atau penentuan arah pada sistem GPS. Kesulitan pada aspek dekomposisi terlihat ketika mahasiswa tidak mampu membagi persoalan kompleks, seperti menentukan resultan beberapa vektor dalam ruang tiga dimensi, menjadi

komponen-komponen yang dapat dianalisis secara terpisah. Sementara itu, skor pada aspek solusi algoritmik menunjukkan adanya hambatan dalam merancang prosedur logis, misalnya dalam menentukan apakah dua vektor sejajar atau tegak lurus melalui perhitungan perkalian titik. Selain itu, aspek Evaluasi dan Pengenalan Pola juga menunjukkan skor yang relatif rendah, yaitu 2,3 dan 2,6, yang menandakan bahwa mahasiswa masih kesulitan menilai efektivitas suatu strategi penyelesaian serta mengenali keteraturan atau pola umum dari berbagai kasus yang diberikan. Dalam evaluasi, mahasiswa kurang mampu membandingkan beberapa metode penyelesaian dan memilih cara yang paling efisien, sedangkan dalam pengenalan pola mereka belum dapat menggeneralisasi konsep vektor ke situasi baru yang lebih luas. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun mahasiswa memiliki pemahaman dasar mengenai vektor, kemampuan computational thinking mereka masih perlu diperkuat melalui pendekatan pembelajaran yang lebih kontekstual, eksploratif, dan terstruktur untuk mendukung pengembangan kelima aspek CT tersebut.

Kemampuan CT pada mahasiswa semester pertama angkatan 2024 yang menjadi subject dalam penelitian pendahuluan ini cenderung rendah karena beberapa faktor yang mempengaruhinya. Salah satu faktor utama adalah learning loss akibat pandemi COVID-19 yang terjadi saat mereka masih berada di jenjang SMP. Selama pandemi, pembelajaran daring tidak optimal dalam membangun pemahaman konsep fundamental yang berhubungan dengan CT, seperti pemecahan masalah berbasis logika, berpikir algoritmik, dan pengenalan pola dalam penyelesaian masalah. UNESCO (2022) menyebutkan bahwa pandemi menyebabkan ketertinggalan akademik yang signifikan, terutama dalam bidang matematika dan sains yang erat kaitannya dengan CT. Selain itu, penelitian Kuhfeld et al. (2022) menemukan bahwa siswa yang menjalani pembelajaran daring penuh selama pandemi mengalami penurunan pemahaman numerik yang lebih rendah dibandingkan dengan siswa yang belajar secara tatap muka. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa semester pertama angkatan 2024 mungkin mengalami kesulitan dalam mengembangkan CT karena fondasi berpikir logis dan pemecahan masalah mereka belum terbentuk dengan optimal sejak di jenjang SMP. Penelitian yang dilakukan oleh Teristonia et al. (2022) menunjukkan bahwa fenomena *learning loss*

pascapandemi berdampak pada penurunan capaian belajar siswa, khususnya pada kemampuan berpikir tingkat tinggi dalam pembelajaran matematika. Temuan serupa juga dilaporkan oleh (Maba et al., 2023) yang menegaskan bahwa gangguan pembelajaran selama pandemi memengaruhi kesiapan kognitif dan kualitas proses belajar siswa. Kondisi ini mengindikasikan bahwa dampak *learning loss* berpotensi berpengaruh terhadap rendahnya kemampuan *Computational Thinking*, terutama dalam aspek penalaran logis dan pemecahan masalah yang sistematis. Selain itu, keterbatasan akses terhadap teknologi pembelajaran seperti praktik penggunaan GeoGebra selama pandemi turut memperparah kesenjangan pemahaman tersebut. Dengan demikian, diperlukan pendekatan pembelajaran inovatif yang tidak hanya mampu menjembatani kesenjangan ini, tetapi juga dapat membantu mahasiswa membangun kembali kemampuan CT mereka melalui integrasi teknologi, teori pembelajaran, dan pendekatan berbasis konteks.

Keterbatasan integrasi CT dalam kurikulum juga berkontribusi terhadap rendahnya kemampuan CT mahasiswa. Grover and Pea (2021) menekankan bahwa CT harus diintegrasikan secara lintas disiplin, bukan hanya dalam mata kuliah pemrograman atau ilmu komputer, agar mahasiswa terbiasa menerapkannya dalam berbagai konteks. Sayangnya, banyak perguruan tinggi masih membatasi penerapan CT hanya dalam mata kuliah tertentu, sehingga mahasiswa kurang memiliki pengalaman dalam mengaplikasikan konsep CT secara luas. Penelitian lain oleh Schute et al. (2017) menunjukkan bahwa integrasi CT ke dalam berbagai mata pelajaran meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan berpikir algoritmik mahasiswa secara signifikan. Dengan tidak adanya pendekatan holistik dalam kurikulum yang mendukung pengembangan CT, mahasiswa cenderung menghadapi kesulitan dalam membangun pola pikir yang sesuai dengan kemampuan CT.

Minimnya aktivitas eksploratif dalam pembelajaran juga menjadi salah satu kendala signifikan dalam pengembangan CT mahasiswa. Mahasiswa cenderung lebih banyak terlibat dalam kegiatan akademik berbasis prosedural dibandingkan eksplorasi konsep secara mandiri. Dalam pembelajaran matematika, misalnya, mahasiswa sering kali hanya menyelesaikan soal berdasarkan rumus yang diberikan tanpa mengeksplorasi berbagai kemungkinan penyelesaian yang lebih luas.

Padahal, penelitian oleh Falkner et al. (2021) menunjukkan bahwa mahasiswa yang diberikan kesempatan untuk mengeksplorasi solusi alternatif dalam pemecahan masalah matematika mengalami peningkatan dalam dekomposisi dan abstraksi, dua komponen utama dalam CT. Selain itu, Schute et al. (2017) menegaskan bahwa pengalaman eksploratif berkontribusi pada pengembangan pola pikir algoritmik mahasiswa, yang menjadi dasar dalam CT. Hal serupa juga tercermin dalam Hasil Evaluasi Dosen oleh Mahasiswa (EDOM) pada semester ganjil 2024/2025, yang menunjukkan bahwa pembelajaran Aljabar Linier di program studi Sistem Informasi dan program studi Manajemen Informatika belum secara optimal mengaitkan materi yang diajarkan dengan penerapan di bidang teknologi informasi (IT). Konsep-konsep abstrak seperti vektor dan matriks masih diajarkan secara teoritis tanpa koneksi yang jelas ke aplikasi dunia nyata, seperti pemrosesan citra digital, pengolahan data multidimensi, atau pengembangan sistem berbasis kecerdasan buatan. Akibatnya, mahasiswa tidak hanya mengalami kesulitan dalam memahami relevansi materi, tetapi juga kehilangan kesempatan untuk mengembangkan CT melalui penerapan konsep dalam konteks eksploratif dan praktis.

Berdasarkan penyebab-penyebab yang telah diidentifikasi tersebut, maka upaya peningkatan CT mahasiswa perlu difokuskan pada penguatan kembali konsep-konsep dasar yang hilang akibat learning loss selama pandemi, integrasi CT ke dalam berbagai mata kuliah, dan penggunaan media pembelajaran interaktif yang lebih luas. Kemampuan CT mencakup keterampilan penting seperti pemecahan masalah secara sistematis, pengenalan pola, dan perancangan algoritma. Hal ini menjadi sangat penting untuk era digital, di mana kemampuan ini memungkinkan mahasiswa untuk mengintegrasikan teknologi dan pemikiran logis dalam memecahkan masalah kompleks. Namun, pembelajaran yang berorientasi pada teori saja belum cukup untuk mengembangkan keterampilan ini secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang lebih inovatif, sistematis, dan relevan dengan kebutuhan pendidikan modern salah satunya melalui pembelajaran digital.

Dalam konteks pembelajaran digital, integrasi teknologi perlu didukung oleh kerangka yang jelas, salah satunya melalui *Technological Pedagogical Content*

Knowledge (TPACK) yang dikembangkan oleh Mishra and Koehler (2006). Kerangka ini merupakan pengembangan dari konsep *Pedagogical Content Knowledge* (TPAC) yang diperkenalkan oleh Shulman (1987), yang menekankan pentingnya keterpaduan antara penguasaan materi dan strategi pembelajaran. TPACK memperluas konsep tersebut dengan memasukkan dimensi teknologi sebagai komponen penting dalam pembelajaran modern, sehingga efektivitas pembelajaran tidak hanya ditentukan oleh kemampuan mengajar atau penguasaan materi semata, tetapi oleh kemampuan mengintegrasikan ketiganya secara sinergis. Integrasi ini memungkinkan terciptanya pembelajaran yang lebih kontekstual, interaktif, dan adaptif terhadap kebutuhan peserta didik di era digital.

Pembelajaran digital telah menjadi bagian integral dalam sistem pendidikan modern, dengan adopsi teknologi yang semakin luas di berbagai institusi pendidikan tinggi (Zawacki-Richter et al., 2021). Namun, implementasi pembelajaran digital saat ini masih sering didominasi oleh pendekatan behavioristik, yang menekankan pada pemberian stimulus dan respons, latihan berulang, serta evaluasi berbasis hasil akhir (Hodges et al., 2020). Dalam pendekatan ini, mahasiswa lebih banyak berperan sebagai penerima informasi pasif, dengan keterbatasan dalam mengeksplorasi konsep dan mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, termasuk kemampuan CT (Bozkurt & Sharma, 2021). Pendekatan behavioristik dalam pembelajaran digital masih banyak ditemukan dalam praktik pendidikan tinggi, khususnya dalam bentuk penyampaian materi secara linear melalui video ceramah, latihan kuis otomatis, serta evaluasi berbasis pilihan ganda. Model pembelajaran semacam ini cenderung berfokus pada penyampaian konten dan pencapaian skor akhir, dibandingkan pada proses konstruksi pengetahuan dan eksplorasi konsep secara mendalam. Sejumlah kajian terbaru menunjukkan bahwa pembelajaran daring yang terlalu menekankan kontrol konten dan evaluasi hasil kurang efektif dalam mengembangkan pemahaman konseptual dan keterampilan pemecahan masalah tingkat tinggi (Bond, Bedenlier, Martin, et al., 2020; Martin, Wang, et al., 2020). Akibatnya, banyak mahasiswa kesulitan dalam menerapkan konsep abstrak dalam konteks dunia nyata, terutama dalam bidang matematika dan ilmu komputasi (Hodges et al., 2020).

Teori konstruktivisme memberikan landasan yang relevan dalam upaya mengatasi keterbatasan ini. Teori konstruktivisme memandang pembelajaran sebagai proses aktif di mana mahasiswa membangun pengetahuan mereka melalui interaksi dengan lingkungan. Teori Konstruktivisme menekankan bahwa pembelajaran berlangsung melalui tahapan perkembangan kognitif, di mana mahasiswa membentuk pemahaman konseptual melalui pengalaman langsung. Vygotsky (1978) melengkapi pandangan ini dengan menekankan pentingnya dukungan (*scaffolding*) dan interaksi sosial dalam memfasilitasi pembelajaran. Pendekatan ini mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis, analitis, dan reflektif mahasiswa. Konteks pengembangan CT membuat teori konstruktivisme relevan karena menempatkan mahasiswa sebagai subjek aktif yang merancang solusi berbasis algoritma melalui proses eksplorasi, eksperimen, dan sintesis.

Teori konstruktivisme memiliki keunggulan dalam mendorong keterlibatan aktif mahasiswa, tetapi implementasinya dalam pembelajaran tinggi sering menghadapi kendala. Penelitian oleh Osztíán et al. (2022) menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat meningkatkan keterlibatan dan pemahaman konsep, tetapi tanpa panduan yang jelas dan terstruktur, mahasiswa cenderung kehilangan arah dalam pembelajaran, terutama pada materi kompleks seperti ruang vektor dan transformasi linier. Kendala ini semakin menegaskan perlunya pendekatan pembelajaran yang berbasis konstruktivisme, tetapi juga dilengkapi dengan kerangka teori yang terstruktur dan teknologi pendukung. Perkembangan teknologi digital menghadirkan peluang besar untuk menjawab tantangan ini. UNESCO (2022) menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi dalam pendidikan merupakan kebutuhan penting untuk mendukung pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi dan pemecahan masalah. Teknologi digital tidak hanya berfungsi sebagai media penyampaian informasi, tetapi juga sebagai sarana untuk memfasilitasi eksplorasi, visualisasi, dan interaksi dalam pembelajaran. Salah satu bentuk implementasi teknologi dalam pembelajaran adalah penggunaan *Learning Management System* (LMS) sebagai lingkungan belajar yang terstruktur. Dalam konteks tersebut, LMS berperan sebagai lingkungan pembelajaran terstruktur yang memungkinkan pengelolaan materi, aktivitas, dan evaluasi secara sistematis. Studi terkini menunjukkan bahwa LMS yang dirancang dengan pengaturan aktivitas yang

jasas, monitoring progres, dan umpan balik terintegrasi dapat meningkatkan keterlibatan serta regulasi diri mahasiswa dalam pembelajaran daring (Al-Fraihat et al., 2020; Bond, Bedenlier, Martin, et al., 2020). Selain itu, pemanfaatan perangkat lunak matematis seperti GeoGebra memungkinkan mahasiswa memvisualisasikan operasi vektor secara interaktif (Campos Nava et al., 2021). Kombinasi LMS, GeoGebra, dan MATLAB menciptakan pengalaman belajar yang kaya, mendorong pemahaman konsep abstrak, dan mempercepat pengembangan keterampilan CT.

Teori konstruktivisme sebagai landasan epistemologis menegaskan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman, interaksi sosial, dan refleksi. Dalam praktik pendidikan, konstruktivisme berfungsi sebagai kerangka teoretis yang melandasi beragam pendekatan pembelajaran, antara lain *problem-based learning*, *inquiry learning*, pembelajaran kontekstual, dan penemuan terbimbing. Pada konteks pendidikan matematika, salah satu bentuk operasionalisasi konstruktivisme adalah teori APOS dan pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME). APOS menguraikan bagaimana struktur kognitif mahasiswa berkembang secara bertahap melalui tahapan *Action*, *Process*, *Object*, dan *Schema*, yang merefleksikan konstruksi internal pengetahuan sebagaimana dijelaskan dalam konstruktivisme kognitif. APOS yang diperkenalkan oleh Dubinsky and McDonald (2001), menekankan bahwa pemahaman konsep matematika abstrak berkembang melalui empat tahap: *Action*, dimana mahasiswa melakukan operasi dasar; *Process*, dimana mereka memahami pola operasi tersebut; *Object*, dimana mereka melihat konsep sebagai kesatuan yang lebih kompleks; dan *Schema*, dimana mereka mampu menghubungkan konsep tersebut dengan konsep lain dalam struktur yang lebih luas (Arnon et al., 2014). Misalnya, dalam pembelajaran vektor, mahasiswa dapat mengembangkan pemahaman tentang operasi dasar vektor hingga ke tahap penghubungan dengan transformasi linier dan ruang vektor. Sementara itu, RME menekankan proses matematisasi dari konteks nyata menuju abstraksi formal, yang selaras dengan konstruktivisme sosial yang menempatkan pengalaman dan interaksi sebagai dasar pembentukan makna. Pendekatan RME yang dikembangkan oleh Freudenthal (1991), menekankan pentingnya pengalaman dunia nyata dalam pembelajaran matematika. RME mencakup dua proses utama, yaitu matematisasi horizontal dan vertikal.

Matematisasi horizontal memungkinkan mahasiswa menggunakan pengalaman nyata untuk membangun pemahaman awal, sedangkan matematisasi vertikal memungkinkan mereka memformalkan konsep tersebut menjadi representasi matematika yang lebih abstrak (Doorman et al., 2021). Dalam pembelajaran vektor, RME dapat diterapkan dengan memperkenalkan contoh aplikasi dunia nyata seperti navigasi GPS, analisis data multidimensi, atau pemrosesan citra digital.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa teori APOS, pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME), dan pembelajaran digital masing-masing memiliki potensi dalam mendukung pengembangan kemampuan *Computational Thinking* (CT) mahasiswa. Teori APOS menjelaskan bagaimana pemahaman konsep matematika terbentuk melalui tahapan aksi, proses, objek, dan skema, sehingga membantu mahasiswa membangun pemahaman yang sistematis terhadap konsep abstrak, seperti ruang vektor (Tuktamyshov & Gorskaya, 2024b). Sementara itu, pendekatan RME menekankan proses matematisasi dunia nyata yang memungkinkan mahasiswa mengaitkan konsep matematika dengan konteks yang bermakna. Van Zanten and den Heuvel-Panhuizen (2021) menunjukkan bahwa matematisasi horizontal dan vertikal dalam RME dapat meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam memodelkan permasalahan dunia nyata serta mengabstraksikan solusi yang dihasilkan. Di sisi lain, perkembangan teknologi digital juga memberikan kontribusi penting dalam pembelajaran matematika melalui visualisasi interaktif dan eksplorasi konsep secara dinamis. Pemanfaatan perangkat lunak seperti GeoGebra memungkinkan mahasiswa mengeksplorasi konsep matematika yang abstrak secara lebih konkret dan mendukung pemahaman yang lebih mendalam (Jordaan et al., 2023). Fukui et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi teknologi dengan pendekatan RME dapat mendukung pengembangan kemampuan *Computational Thinking* (CT) mahasiswa melalui penggunaan konteks nyata dan visualisasi interaktif dalam pembelajaran matematika. Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa mengeksplorasi konsep matematika secara lebih konkret dan menghubungkannya dengan situasi dunia nyata. Namun demikian, pendekatan RME yang dipadukan dengan teknologi lebih menekankan pada proses matematisasi kontekstual dan eksplorasi visual, sementara

lebih awal (biru kehijauan) seperti *APOS*, *APOS theory*, *process*, dan *action* menunjukkan penelitian yang berkaitan dengan teori konstruksi pemahaman konsep matematika. Pada periode berikutnya, perhatian penelitian mulai bergeser pada pengembangan model dan pendekatan pembelajaran yang ditunjukkan oleh kemunculan kata kunci seperti *model*, *approach*, dan *development*. Sementara itu, kata kunci yang ditampilkan dengan warna lebih baru (kuning) seperti *ability*, *effect*, dan *outcome* menunjukkan meningkatnya perhatian terhadap evaluasi hasil pembelajaran dan dampak penerapan model pembelajaran terhadap kemampuan mahasiswa. Selain itu, kemunculan istilah *realistic mathematics education* (RME) menunjukkan bahwa pendekatan kontekstual juga mulai banyak digunakan dalam pembelajaran matematika. Perkembangan ini juga mengindikasikan munculnya perhatian terhadap proses matematisasi sebagai mekanisme yang menjembatani konteks nyata dengan abstraksi formal dalam pembelajaran matematika. Pemetaan ini menunjukkan bahwa meskipun teori APOS dan pendekatan RME telah muncul dalam literatur, keterkaitannya dengan pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi masih belum terlihat secara kuat, terutama dalam menjelaskan hubungan antara perkembangan struktur kognitif mahasiswa dengan proses matematisasi, sehingga membuka peluang penelitian lebih lanjut untuk mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut dalam pengembangan model pembelajaran matematika.

Hasil pemetaan bibliometrik menunjukkan bahwa istilah *APOS theory* dan *Realistic Mathematics Education* belum memiliki keterkaitan yang kuat dengan pengembangan *computational thinking* dalam literatur yang ada. Temuan ini mengindikasikan bahwa sebagian besar penelitian masih menelaah penggunaan teori APOS, pendekatan RME, atau teknologi digital secara terpisah, atau hanya mengintegrasikan sebagian dari komponen tersebut dalam konteks pembelajaran tertentu. Integrasi teknologi dan RME, misalnya, lebih banyak menekankan penggunaan konteks nyata dan visualisasi interaktif dalam proses pembelajaran yang berkaitan dengan matematisasi horizontal dalam membangun representasi awal, tetapi belum secara eksplisit menjelaskan bagaimana struktur kognitif mahasiswa berkembang secara bertahap dalam membangun konsep matematika yang mendasari CT. Di sisi lain, proses matematisasi vertikal yang mengarah pada pembentukan struktur konsep formal juga belum banyak dikaitkan dengan

perkembangan kognitif mahasiswa secara sistematis. Dalam konteks ini, teori APOS menawarkan kerangka kognitif yang menjelaskan proses konstruksi pemahaman matematis secara sistematis melalui tahapan aksi, proses, objek, dan skema. Integrasi APOS mendukung tahapan pembelajaran yang bertahap dan sistematis, sementara RME memberikan konteks bermakna melalui proses matematisasi. Kombinasi keduanya memungkinkan terjadinya keterkaitan antara proses internal (struktur kognitif) dan proses eksternal (matematisasi dari konteks ke konsep), yang sangat penting dalam pengembangan *Computational Thinking*. Pada saat yang sama, teknologi digital dapat memperkuat proses refleksi dan interaksi sosial dalam pembelajaran, yang merupakan pilar penting dalam teori konstruktivisme (Alenezi, 2023a; T. Fukui et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi apakah integrasi ketiga pendekatan ini dapat menciptakan sinergi yang lebih kuat dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa, khususnya dalam pembelajaran konsep-konsep abstrak seperti vektor dan transformasi linier pada mata kuliah Aljabar Linear.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan dalam latar belakang, maka dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME untuk meningkatkan kemampuan CT mahasiswa?
2. Bagaimana kevalidan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME untuk meningkatkan kemampuan CT mahasiswa?
3. Bagaimana kepraktisan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME untuk meningkatkan kemampuan CT mahasiswa?
4. Apakah model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME efektif meningkatkan kemampuan CT mahasiswa?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan karakteristik model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME yang dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan CT mahasiswa.
2. Mengetahui dan menganalisis tingkat kevalidan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME yang dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan CT mahasiswa.
3. Mengetahui dan menganalisis tingkat kepraktisan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME dalam implementasinya pada pembelajaran matematika di perguruan tinggi.
4. Menguji keefektivan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME dalam meningkatkan kemampuan CT mahasiswa.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis
 - a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teori pembelajaran, khususnya dalam konteks integrasi teori APOS dan konsep matematisasi RME untuk pembelajaran digital, sehingga memperkaya literatur mengenai metode pembelajaran konstruktivis dan matematika realistik.
 - b. Memperluas pemahaman tentang penerapan teori CT dalam pendidikan tinggi serta memberikan wawasan baru tentang cara mengembangkan kemampuan tersebut melalui integrasi teori APOS dan konsep matematisasi konsep RME.
 - c. Meningkatkan pemahaman terhadap konsep-konsep matematika abstrak melalui penerapan model pembelajaran digital berbasis teori APOS dan konsep matematisasi RME, yang relevan untuk kebutuhan CT.

2. Manfaat Praktis

- a. Menghasilkan model pembelajaran digital inovatif dan aplikatif yang membantu pengajar di perguruan tinggi dalam meningkatkan keterampilan CT mahasiswa di berbagai disiplin ilmu, khususnya teknologi dan matematika.
- b. Meningkatkan kualitas pembelajaran di perguruan tinggi, dengan memberikan fasilitas yang mendorong pengembangan kemampuan berpikir kritis, logis, dan algoritmis sesuai dengan kebutuhan era digital.
- c. Memberikan dasar pengembangan kurikulum atau modul pembelajaran yang relevan dan adaptif, khususnya dalam mengintegrasikan kemampuan CT dalam pendidikan tinggi.
- d. Meningkatkan kemampuan CT mahasiswa yang mendukung baik dalam studi akademik maupun persiapan mereka menghadapi dunia profesional berbasis teknologi.

E. Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan

1. Asumsi Pengembangan

- a. Mahasiswa memiliki akses terhadap perangkat digital dan koneksi internet yang memadai untuk mendukung pelaksanaan pembelajaran berbasis digital.
- b. Dosen atau pengajar memiliki kompetensi yang memadai dalam memahami dan mengimplementasikan teori APOS, konsep matematisasi RME, serta teknologi yang mendukung pembelajaran digital.
- c. Mahasiswa memiliki motivasi dan kesiapan belajar yang memadai, baik dalam hal kemampuan dasar matematika maupun literasi teknologi, untuk mengikuti pembelajaran berbasis model yang dikembangkan.

2. Keterbatasan Pengembangan

- a. Penelitian ini hanya mencakup pengembangan model dalam konteks pembelajaran tertentu, sehingga hasilnya mungkin tidak sepenuhnya dapat digeneralisasi ke mata kuliah atau program studi lain.
- b. Pengembangan model tidak sepenuhnya memperhitungkan perbedaan gaya belajar individu mahasiswa yang dapat memengaruhi efektivitas pembelajaran.

- c. Keterbatasan waktu dan sumber daya penelitian dapat memengaruhi kedalaman analisis dan uji coba model pembelajaran yang dikembangkan.
- d. Faktor non-akademik, seperti motivasi mahasiswa dan lingkungan belajar di luar kampus, tidak sepenuhnya dapat dikontrol dalam implementasi model ini.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR

A. Kajian Pustaka

1. Teori Konstruktivisme

a. Pengertian Pembelajaran Konstruktivisme

Teori pembelajaran konstruktivisme memandang pembelajaran sebagai proses aktif di mana individu membangun pengetahuan baru berdasarkan pengalaman langsung dan interaksi dengan lingkungan. Pendekatan ini berbeda dengan behaviorisme, yang menganggap pembelajaran sebagai proses pasif yang dipengaruhi oleh stimulus eksternal (Piaget, 1972; Vygotsky, 1978). Dalam konstruktivisme, siswa berperan aktif sebagai pembangun pengetahuan, sementara guru menjadi fasilitator yang membantu siswa menghubungkan informasi baru dengan pengetahuan yang sudah dimiliki (Von Glasersfeld, 1989).

Piaget mengemukakan bahwa perkembangan kognitif manusia berlangsung melalui empat tahap utama: sensori-motor, pra-operasional, operasional konkret, dan operasional formal. Pada tahap operasional formal, siswa mampu berpikir abstrak dan logis, yang relevan untuk memahami konsep matematika yang kompleks seperti vektor dan matriks. Di sisi lain, (Vygotsky, 1978) memperkenalkan konsep *Zone of Proximal Development (ZPD)*, yang menekankan pentingnya interaksi sosial dan bimbingan untuk membantu siswa mencapai tingkat pemahaman yang lebih tinggi. Teori-teori ini menjadi dasar dalam mengembangkan strategi pembelajaran berbasis konstruktivisme. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis konstruktivisme yang didukung teknologi digital, seperti sistem pembelajaran adaptif, dapat meningkatkan fleksibilitas kognitif siswa. Teknologi ini memungkinkan personalisasi proses belajar, sehingga siswa dapat memahami materi dengan cara yang relevan bagi mereka (Alenezi, 2023b). Selain itu, implementasi media pembelajaran berbasis ICT telah terbukti memperkuat keterlibatan dan motivasi siswa dalam pembelajaran

b. Prinsip-Prinsip Dasar Konstruktivisme

Teori konstruktivisme menegaskan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh individu melalui interaksi antara pengalaman baru dan struktur kognitif yang telah dimiliki. (Piaget, 1970) menjelaskan bahwa proses belajar berlangsung melalui

mekanisme asimilasi dan akomodasi yang membentuk serta mereorganisasi skema kognitif. Sementara itu, (Vygotsky, 1978) menekankan bahwa perkembangan kognitif tidak terlepas dari interaksi sosial dan dukungan dalam *Zone of Proximal Development* (ZPD). Dengan demikian, konstruktivisme memandang belajar sebagai proses aktif, reflektif, dan sosial.

Secara konseptual, prinsip-prinsip dasar konstruktivisme dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pengetahuan dikonstruksi secara aktif

Peserta didik membangun makna melalui pengalaman, bukan menerima informasi secara pasif (Von Glasersfeld, 1989). Proses ini menempatkan mahasiswa sebagai subjek yang aktif dalam pembelajaran.

2. Integrasi pengetahuan baru dengan pengetahuan awal

Pembelajaran yang efektif mensyaratkan aktivasi *prior knowledge*, karena informasi baru dipahami melalui keterkaitannya dengan struktur kognitif yang sudah ada (Bransford et al., 2000).

3. Interaksi sosial sebagai medium konstruksi makna

Diskusi, kolaborasi, dan dialog memungkinkan terjadinya negosiasi makna dan perluasan perspektif kognitif (Schunk & Greene, 2021; Vygotsky, 1978).

4. Refleksi dan metakognisi memperkuat pemahaman

Peserta didik perlu merefleksikan proses berpikirnya untuk membangun struktur pengetahuan yang lebih stabil dan transferabel (Schraw et al., 2006; Zimmerman, 2002).

5. Pembelajaran kontekstual dan bermakna

Pengetahuan lebih mudah dipahami ketika dikaitkan dengan konteks nyata dan pengalaman autentik (Fosnot, 2013; Jonassen, 1999).

c. Karakteristik Pembelajaran Konstruktivistik

Pembelajaran konstruktivistik berangkat dari pandangan bahwa mahasiswa membangun sendiri pengetahuannya melalui pengalaman belajar yang aktif, interaksi sosial, dan refleksi. (Piaget, 1970) menekankan bahwa perkembangan kognitif terjadi melalui proses asimilasi dan akomodasi, sedangkan (Vygotsky, 1978) menegaskan pentingnya interaksi sosial dan bimbingan dalam *Zone of Proximal Development* (ZPD). Dalam konteks pendidikan tinggi, konstruktivisme

tidak hanya menempatkan mahasiswa sebagai penerima informasi, tetapi sebagai subjek yang aktif dalam membangun pemahaman konseptual.

Secara umum, karakteristik pembelajaran konstruktivistik meliputi:

1. Berpusat pada mahasiswa

Mahasiswa berperan aktif dalam mengeksplorasi, mengolah, dan menyimpulkan informasi, sedangkan dosen berfungsi sebagai fasilitator dan pembimbing (Schunk & Greene, 2021).

2. Menggunakan masalah kontekstual sebagai titik awal pembelajaran

Pembelajaran diawali dengan permasalahan yang relevan dengan kehidupan nyata agar mahasiswa dapat membangun pemahaman yang bermakna (Jonassen, 1999).

3. Mendorong diskusi dan kolaborasi

Interaksi antar mahasiswa membantu terjadinya pertukaran ide dan penguatan pemahaman melalui proses dialog dan klarifikasi konsep (Vygotsky, 1978).

4. Menekankan proses berpikir dan pemahaman konsep

Pembelajaran tidak hanya berorientasi pada hasil akhir, tetapi juga pada proses analisis, penalaran, dan refleksi mahasiswa (Schunk & Greene, 2021).

5. Mengintegrasikan teknologi sebagai sarana eksplorasi konsep

Dalam pembelajaran digital, penggunaan LMS dan perangkat lunak interaktif dapat mendukung visualisasi konsep abstrak serta meningkatkan keterlibatan mahasiswa (Alenezi, 2023c; Bond, Bedenlier, Martin, et al., 2020).

Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran konstruktivistik sangat relevan untuk pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi, termasuk *Computational Thinking*. Proses mengidentifikasi masalah, menganalisis pola, menyusun langkah penyelesaian, dan merefleksikan hasil sejalan dengan prinsip konstruksi aktif pengetahuan yang menjadi inti konstruktivisme (Weintrop et al., 2016).

d. Penerapan Konstruktivisme dalam Pendidikan Tinggi

Pendekatan konstruktivisme sangat cocok untuk pendidikan tinggi, terutama dalam membantu mahasiswa memahami konsep-konsep abstrak seperti aljabar linier dan statistik. Strategi implementasi meliputi:

1) Pembelajaran Berbasis Masalah (*Problem-Based Learning*)

Pembelajaran berbasis masalah mendorong mahasiswa untuk memecahkan masalah nyata yang relevan dengan konteks dunia kerja. Pendekatan ini meningkatkan kemampuan analitis, berpikir kritis, dan keterampilan pemecahan masalah (Barradas et al., 2024). Misalnya, dalam pembelajaran aljabar linier, mahasiswa dapat diberikan studi kasus yang melibatkan aplikasi transformasi linier dalam grafik komputer.

2) Penggunaan Media Interaktif dan Teknologi Digital

Teknologi digital seperti simulasi interaktif, perangkat lunak seperti GeoGebra, dan aplikasi berbasis realitas virtual memungkinkan mahasiswa untuk mengeksplorasi konsep-konsep matematika secara visual. (Redhana, 2024) mencatat bahwa penggunaan teknologi ini meningkatkan pemahaman siswa terhadap ruang vektor dan relasinya dengan konteks nyata.

3) Diskusi dan Kolaborasi

Pendekatan diskusi berbasis kelompok membantu mahasiswa berbagi ide dan strategi pemecahan masalah. Kolaborasi semacam ini tidak hanya meningkatkan pemahaman individu tetapi juga memperkaya pemahaman kelompok (Li et al., 2020).

2. Teori Kognitivisme

Teori kognitivisme berkembang sebagai respons terhadap keterbatasan behaviorisme yang menempatkan belajar semata sebagai perubahan perilaku yang dapat diamati. Kognitivisme memandang belajar sebagai proses mental internal yang melibatkan perhatian, persepsi, pengkodean, penyimpanan, serta restrukturisasi informasi dalam struktur kognitif individu. Dalam perspektif ini, perubahan belajar terutama tercermin pada perubahan cara individu memahami dan mengorganisasi pengetahuan (Bruner, 1960; Gagné, 1985). Hingga saat ini, kognitivisme tetap menjadi landasan penting dalam psikologi pendidikan karena

memberikan penjelasan tentang mekanisme berpikir dan pembentukan konsep (Schunk, 2020).

Belajar merupakan proses aktif dalam menemukan dan membangun struktur pengetahuan. Ia mengemukakan tiga mode representasi, yaitu enaktif, ikonik, dan simbolik (Bruner, 1960). Representasi enaktif berkaitan dengan tindakan langsung terhadap objek, representasi ikonik berupa gambaran atau visualisasi mental, sedangkan representasi simbolik menggunakan bahasa dan simbol formal. Perkembangan kajian kognitif mutakhir menunjukkan bahwa kualitas representasi sangat berpengaruh terhadap pemahaman konseptual, terutama ketika pembelajaran melibatkan kombinasi teks dan visual yang terorganisasi secara koheren (Mayer, 2020a). Gagné (1985) memperluas perspektif kognitivistik melalui teori kondisi belajar yang menekankan adanya interaksi antara kondisi internal dan eksternal. Kondisi internal mencakup kesiapan mental dan strategi kognitif individu, sedangkan kondisi eksternal berkaitan dengan peristiwa pembelajaran yang dirancang untuk memfasilitasi proses berpikir. Gagné mengidentifikasi beberapa tipe hasil belajar, seperti keterampilan intelektual, strategi kognitif, informasi verbal, keterampilan motorik, dan sikap. Prinsip ini kemudian menjadi dasar pengembangan desain instruksional modern yang menekankan pentingnya urutan kegiatan belajar secara sistematis (Reigeluth et al., 2017).

Perkembangan kognitivisme kontemporer juga ditandai oleh perhatian terhadap struktur pengetahuan dan pembentukan skema. Belajar terjadi ketika informasi baru terintegrasi ke dalam jaringan pengetahuan yang telah ada melalui proses elaborasi dan reorganisasi (J. R. Anderson, 2015). Proses ini memungkinkan terbentuknya skema yang lebih stabil dan terstruktur. Dalam penelitian pendidikan mutakhir, pembentukan skema dipandang sebagai faktor kunci dalam mendukung transfer pengetahuan dan pemecahan masalah tingkat tinggi (Kirschner & Hendrick, 2020). Selain itu, kajian terbaru dalam psikologi pendidikan menekankan pentingnya metakognisi sebagai bagian integral dari proses kognitif. Metakognisi merujuk pada kemampuan individu untuk merencanakan, memonitor, dan mengevaluasi proses berpikirnya sendiri. Penelitian menunjukkan bahwa strategi metakognitif berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas belajar dan kedalaman pemahaman (Dunlosky & Metcalfe, 2009; Panadero, 2017). Dalam

konteks pendidikan modern, pengembangan metakognisi menjadi salah satu fokus utama dalam desain pembelajaran berbasis kognitif. Teori beban kognitif yang dikembangkan dalam kerangka kognitivisme juga memberikan kontribusi penting terhadap desain pembelajaran. Kapasitas memori kerja bersifat terbatas, sehingga penyajian informasi harus dirancang untuk meminimalkan beban kognitif yang tidak relevan dan mengoptimalkan pemrosesan informasi yang bermakna (Sweller et al., 2019). Temuan ini diperkuat oleh kajian mutakhir yang menekankan pentingnya kesesuaian antara struktur materi dan kapasitas pemrosesan peserta didik (Paas & van Merriënboer, 2020).

3. Teori Pemrosesan Informasi

Teori pemrosesan informasi merupakan salah satu pendekatan utama dalam psikologi kognitif yang menjelaskan mekanisme internal bagaimana manusia menerima, mengolah, menyimpan, dan mengambil kembali informasi. Teori ini muncul pada akhir 1960an dengan analogi sistem kerja komputer, di mana pikiran dipandang sebagai sistem yang menerima input, memprosesnya melalui serangkaian tahapan, menyimpannya dalam memori, dan menghasilkan respons sebagai output (Atkinson & Shiffrin, 1968). Meskipun analogi ini bersifat metaforis, model tersebut memberikan kerangka sistematis untuk memahami proses mental yang tidak dapat diamati secara langsung.

Model klasik Atkinson dan Shiffrin membagi sistem memori menjadi tiga komponen utama, yaitu memori sensorik, memori kerja atau memori jangka pendek, dan memori jangka panjang. Memori sensorik berfungsi sebagai tempat penyimpanan awal informasi dari lingkungan melalui indra dalam waktu yang sangat singkat. Informasi yang memperoleh perhatian akan diproses dalam memori kerja, yang memiliki kapasitas terbatas baik dari segi jumlah maupun durasi penyimpanan. Apabila informasi tersebut diproses lebih lanjut melalui pengulangan, elaborasi, pengkodean semantik, atau pengorganisasian, maka informasi akan disimpan dalam memori jangka panjang (Baddeley, 2012). Perkembangan teori memori kerja oleh Baddeley memperkaya model ini dengan menjelaskan adanya beberapa subsistem, yaitu phonological loop untuk informasi verbal, visuospatial sketchpad untuk informasi visual dan spasial, episodic buffer sebagai integrator multimodal, serta central executive yang berperan dalam

pengendalian perhatian dan koordinasi kognitif. Struktur ini menunjukkan bahwa pemrosesan informasi bersifat dinamis dan melibatkan interaksi antar komponen dalam sistem kognitif.

Dalam perspektif yang lebih mutakhir, arsitektur kognitif manusia dipahami sebagai sistem dengan kapasitas pemrosesan terbatas yang harus dikelola secara efektif dalam situasi belajar. (Sweller et al., 2019) melalui teori beban kognitif menjelaskan bahwa kapasitas memori kerja yang terbatas menuntut penyajian informasi yang terstruktur agar tidak membebani sistem kognitif secara berlebihan. Beban kognitif dibedakan menjadi beban intrinsik yang berkaitan dengan kompleksitas materi, beban ekstraneous yang berasal dari cara penyajian informasi yang kurang efektif, serta beban germane yang mendukung pembentukan dan penguatan skema. Kajian terbaru menegaskan bahwa pengelolaan beban kognitif secara tepat berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran (Paas & van Merriënboer, 2020). Selain kapasitas memori, teori pemrosesan informasi juga menekankan pentingnya perhatian sebagai gerbang awal pemrosesan. Informasi yang tidak memperoleh perhatian tidak akan diproses secara mendalam. Oleh karena itu, proses seleksi informasi menjadi tahap krusial dalam pembelajaran. (Mayer, 2020a) melalui teori pembelajaran multimedia menjelaskan bahwa individu belajar secara bermakna ketika mereka secara aktif memilih informasi yang relevan, mengorganisasikannya dalam struktur koheren, dan mengintegrasikannya dengan pengetahuan yang telah tersimpan dalam memori jangka panjang. Prinsip koherensi, segmentasi, dan sinyal visual menjadi bagian penting dalam membantu pengelolaan perhatian dan pemrosesan informasi.

Aspek lain yang menjadi perhatian dalam teori pemrosesan informasi adalah proses encoding dan retrieval. Encoding merujuk pada cara informasi diubah menjadi representasi mental yang dapat disimpan dalam memori jangka panjang. Proses ini akan lebih efektif ketika informasi diproses secara elaboratif dan dikaitkan dengan pengetahuan sebelumnya. Retrieval practice atau latihan pengambilan kembali informasi terbukti memperkuat konsolidasi memori dan meningkatkan retensi jangka panjang (Roediger & Karpicke, 2006; Weinstein et al., 2018). Temuan ini memperlihatkan bahwa pembelajaran yang melibatkan aktivitas recall lebih efektif dibandingkan sekadar membaca ulang materi.

Dalam perkembangan terbaru, teori pemrosesan informasi juga diperkaya oleh penelitian neurosains kognitif yang menunjukkan bahwa pembentukan memori melibatkan proses konsolidasi neural yang dipengaruhi oleh perhatian, pengulangan, dan makna. Penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran yang bermakna dan terstruktur meningkatkan peluang terbentuknya jalur memori yang lebih stabil (Squire & Dede, 2015). Integrasi antara psikologi kognitif dan neurosains semakin memperkuat pemahaman tentang bagaimana pengalaman belajar membentuk perubahan pada sistem kognitif.

4. *Computational Thinking* CT)

a. Pengertian CT

CT adalah pendekatan berpikir yang melibatkan proses pemecahan masalah secara sistematis menggunakan prinsip-prinsip ilmu komputer. (Wing, 2006) mendefinisikan CT sebagai cara berpikir yang mendukung formulasi masalah sehingga dapat diselesaikan melalui algoritma yang dapat dijalankan oleh manusia atau komputer. Konsep ini relevan di berbagai bidang, tidak terbatas pada teknologi, tetapi juga sains, seni, dan matematika. CT menjadi kompetensi penting di abad ke-21, terutama di bidang STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics). Upaya global seperti *National Curriculum for Computing* di Inggris dan program *Hour of Code* di Amerika Serikat menegaskan pentingnya CT sebagai dasar literasi digital untuk menghadapi tantangan transformasi digital. CT adalah keterampilan lintas disiplin yang semakin penting di era Revolusi Industri 4.0. (S. Fukui et al., 2024a) menyatakan bahwa kemampuan CT tidak hanya meningkatkan keterampilan analitis tetapi juga mendorong kreativitas dan inovasi dalam menghadapi tantangan global. Dalam dunia kerja, CT menjadi landasan untuk menyelesaikan masalah kompleks secara sistematis dan efisien. Menurut (Chen et al., 2022), pengembangan CT di kalangan mahasiswa mendukung pembelajaran sepanjang hayat, mempersiapkan mereka untuk beradaptasi dengan perubahan teknologi yang cepat. Selain itu, pendekatan pembelajaran berbasis proyek yang mengintegrasikan CT memberikan pengalaman dunia nyata yang relevan dengan kebutuhan industri.

b. Elemen Utama *CT*

Computational Thinking dalam penelitian ini merujuk pada kemampuan berpikir sistematis yang mencakup dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, dan penyusunan solusi algoritmik. Keempat komponen ini merupakan dimensi inti Computational Thinking yang paling luas digunakan dalam penelitian pendidikan internasional sejak diperkenalkan oleh (Wing, 2006) dan diperkuat dalam kajian (Schute et al., 2017) serta studi-studi terkini tentang pengembangan CT dalam pembelajaran digital. Selain empat komponen inti CT yang umum digunakan (dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritmik), penelitian ini menambahkan komponen *evaluation* sebagai dimensi penting. Evaluation merepresentasikan kemampuan mahasiswa dalam menilai ketepatan, efisiensi, dan kelayakan solusi yang dibangun. (Wing, 2006) menekankan bahwa CT mencakup penalaran terhadap *correctness* dan *efficiency* solusi, sementara (Schute et al., 2017) serta (Bocconi et al., 2016) secara eksplisit memasukkan evaluasi sebagai bagian dari kerangka Computational Thinking pendidikan. Dengan demikian, *evaluation* menjadi aspek krusial terutama dalam konteks pembelajaran matematika berbasis pemecahan masalah di perguruan tinggi.

1) Dekomposisi (*Decomposition*)

Dekomposisi adalah kemampuan untuk memecah suatu permasalahan kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih mudah dipahami, sehingga penyelesaian masalah dapat dilakukan secara bertahap dan sistematis.

2) Pengenalan Pola (*Pattern Recognition*)

Pengenalan pola merupakan kemampuan untuk mengidentifikasi kesamaan, keteraturan, atau hubungan tertentu dalam data maupun situasi masalah, sehingga mahasiswa dapat menemukan struktur atau pola yang dapat digunakan dalam proses pemecahan masalah.

3) Abstraksi (*Abstraction*)

Abstraksi adalah kemampuan untuk menyaring informasi yang relevan dan mengabaikan detail yang tidak penting, sehingga mahasiswa dapat memfokuskan perhatian pada konsep inti atau prinsip dasar yang mendasari suatu permasalahan.

4) Solusi Algoritmik (*Algorithmic Thinking*)

Solusi algoritmik adalah kemampuan untuk menyusun langkah-langkah penyelesaian masalah secara logis, terstruktur, dan berurutan, sehingga solusi dapat diterapkan secara sistematis dan dapat diulang untuk permasalahan serupa.

5) Evaluasi (*Evaluation*)

Evaluasi merupakan kemampuan untuk menilai ketepatan, efisiensi, dan kelayakan solusi yang telah dibangun, termasuk memeriksa kembali proses penyelesaian serta mempertimbangkan apakah solusi tersebut sudah optimal dan sesuai dengan tujuan pemecahan masalah.

c. Manfaat CT dalam Pendidikan

Integrasi CT dalam pendidikan membawa dampak yang signifikan:

- 1) CT mengajarkan siswa untuk memecahkan masalah dengan pendekatan yang terstruktur dan logis. Menurut (Gerosa et al., 2021), siswa yang terampil dalam CT mampu menganalisis data dan membuat prediksi berdasarkan pola-pola yang teridentifikasi.
- 2) Pendekatan berbasis CT memfasilitasi integrasi antara matematika, sains, dan teknologi, yang relevan dalam memahami algoritma genetika dan simulasi fisika menggunakan perangkat lunak interaktif.
- 3) Dengan menerapkan pendekatan algoritmik, siswa dapat menghasilkan solusi kreatif untuk masalah kompleks, seperti desain seni digital dan produk teknologi inovatif. Hal ini mendukung pengembangan keterampilan berpikir "di luar kotak" (Guo et al., 2024).
- 4) Kemampuan CT memberikan siswa keunggulan kompetitif di pasar tenaga kerja, terutama dalam bidang teknologi informasi, teknik, dan sains data. (S. Fukui et al., 2024a) menegaskan bahwa CT menjadi keterampilan penting untuk memenuhi tuntutan era Revolusi Industri 4.0.

d. Tantangan Implementasi CT

Meskipun penting, penerapan CT dalam pendidikan menghadapi beberapa tantangan:

- 1) Tidak adanya definisi universal menyebabkan implementasi yang tidak konsisten dalam kurikulum. Penelitian oleh (Tang et al., 2020) menekankan

bahwa perbedaan pemahaman ini dapat memengaruhi efektivitas pembelajaran CT.

- 2) Banyak yang menganggap CT identik dengan pemrograman. Padahal, CT mencakup elemen seperti abstraksi dan generalisasi yang jauh melampaui pemrograman itu sendiri.
- 3) Guru sering kali belum mendapatkan pelatihan yang memadai untuk mengintegrasikan CT ke dalam pembelajaran lintas disiplin. Pelatihan berbasis teknologi dapat membantu guru mengatasi kendala ini (Wu & Wu, 2024).

e. Strategi untuk Mengintegrasikan CT ke dalam Kurikulum

Untuk mengatasi tantangan tersebut, beberapa strategi berikut dapat diterapkan:

- 1) Pendekatan Berbasis Proyek (*Project-Based Learning*)
Proyek jangka panjang yang memerlukan penerapan CT dapat membantu siswa mengembangkan keterampilan ini dengan cara yang relevan dengan dunia nyata. (Barradas et al., 2024) melaporkan bahwa pendekatan ini efektif dalam meningkatkan keterampilan CT siswa.
- 2) Penggunaan Teknologi Digital
Aplikasi seperti Scratch, Python, dan GeoGebra memungkinkan siswa belajar CT melalui simulasi dan visualisasi. Teknologi ini mendukung personalisasi pembelajaran dan membantu siswa memahami konsep algoritma dan abstraksi dengan cara yang menarik.
- 3) Kolaborasi Antardisiplin
Mengintegrasikan CT ke dalam berbagai mata pelajaran, seperti seni, sejarah, dan musik, membantu siswa memahami bahwa CT adalah keterampilan lintas disiplin yang relevan di berbagai bidang kehidupan (Guo et al., 2024).

5. Pembelajaran Digital

a. Pengertian Pembelajaran Digital

Pembelajaran digital adalah pendekatan yang memanfaatkan teknologi informasi untuk mendukung dan meningkatkan proses belajar mengajar. Teknologi ini meliputi platform daring, perangkat seluler, dan aplikasi berbasis web, memungkinkan pembelajaran yang lebih fleksibel, personal, dan interaktif. Menurut (Redhana, 2024), pembelajaran digital tidak hanya meningkatkan aksesibilitas pendidikan, tetapi juga mendukung inklusivitas dengan fitur-fitur yang ramah bagi siswa dengan kebutuhan khusus.

Transformasi pendidikan digital telah memperlihatkan lonjakan signifikan selama pandemi COVID-19. Krisis ini memaksa lembaga pendidikan untuk mengadopsi teknologi digital dalam skala besar, mempercepat transisi dari metode tradisional ke metode daring. LMS seperti Google Classroom dan Microsoft Teams menjadi alat utama untuk mendukung pembelajaran jarak jauh (Durán et al., 2022; Redhana, 2024). Namun, kesuksesan implementasi pembelajaran digital memerlukan literasi digital yang baik, infrastruktur teknologi yang memadai, dan kebijakan untuk melindungi privasi serta keamanan data siswa (Alenezi, 2023a). Keberlanjutan pembelajaran digital bergantung pada pengembangan teknologi yang lebih inklusif dan strategi yang mendukung kolaborasi lintas budaya. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa alat digital yang didesain dengan prinsip inklusivitas dapat meningkatkan aksesibilitas bagi siswa dengan kebutuhan khusus, seperti fitur teks alternatif dan teknologi bantuan (Lisboa et al., 2020). Selain itu, penting untuk terus mengevaluasi efektivitas pembelajaran digital melalui umpan balik siswa dan guru. Penyesuaian berkelanjutan terhadap alat dan strategi pembelajaran dapat memastikan bahwa pembelajaran digital tetap relevan dan efektif di masa depan (Durán et al., 2022).

b. Komponen Utama dalam Pembelajaran Digital

Pembelajaran digital didukung oleh berbagai komponen penting:

1) Media dan Platform Teknologi

Platform seperti Microsoft Teams dan Zoom digunakan untuk memfasilitasi kolaborasi antara siswa dan guru. Konten multimedia seperti video

pembelajaran, simulasi interaktif, dan bahan e-learning meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses belajar (Redhana, 2024).

2) Interaktivitas dan Gamifikasi

Gamifikasi mengintegrasikan elemen permainan ke dalam pembelajaran untuk meningkatkan motivasi siswa. Misalnya, penghargaan, sistem level, dan tantangan menarik terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar. (Firdaus et al., 2024) menunjukkan bahwa gamifikasi dapat meningkatkan partisipasi siswa dalam pembelajaran sains.

3) *Personalized Learning*

Teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) memungkinkan pembelajaran yang personal. Platform seperti aplikasi adaptif menggunakan analisis data siswa untuk menyusun materi sesuai kebutuhan individu, meningkatkan efektivitas pembelajaran (Durán et al., 2022).

4) Kolaborasi dan Konektivitas Global

Pembelajaran digital membuka peluang bagi siswa untuk terhubung secara global melalui proyek kolaboratif dan diskusi lintas budaya. Konektivitas ini memperluas wawasan siswa dan memperkuat pemahaman lintas budaya (Redhana, 2024).

c. Keunggulan Pembelajaran Digital

1) Aksesibilitas

Pembelajaran digital memungkinkan siswa untuk mengakses materi kapan saja dan di mana saja. Teknologi ini mendemokratisasi pendidikan dengan mengurangi hambatan geografis dan ekonomi (Vaicondam et al., 2022).

2) Efisiensi Biaya

Platform daring memungkinkan penyampaian materi dalam skala besar dengan biaya lebih rendah dibandingkan metode tradisional. Hal ini sangat menguntungkan bagi lembaga pendidikan yang ingin menjangkau lebih banyak siswa (Firdaus et al., 2024).

3) Peningkatan Motivasi dan Keterlibatan Siswa

Elemen interaktif seperti simulasi dan gamifikasi terbukti meningkatkan minat dan keterlibatan siswa. (Redhana, 2024), siswa yang menggunakan

platform berbasis gamifikasi melaporkan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan dan produktif.

4) Fleksibilitas

Dengan teknologi digital, siswa dapat belajar dengan kecepatan mereka sendiri. Fleksibilitas ini memungkinkan siswa mengatur waktu belajar sesuai kebutuhan individu tanpa tekanan dari jadwal tetap.

d. Tantangan dalam Pembelajaran Digital

1) Kesenjangan Digital

Tidak semua siswa memiliki akses ke perangkat teknologi atau konektivitas internet yang memadai. Alenezi (2023c) menggarisbawahi pentingnya investasi infrastruktur untuk mengatasi kesenjangan ini, terutama di daerah pedesaan.

2) Kompetensi Digital Pendidik

Kurangnya pelatihan bagi pendidik untuk mengadopsi teknologi digital menjadi hambatan utama. Durán et al. (2022) merekomendasikan program pelatihan profesional untuk meningkatkan literasi digital pendidik.

3) Privasi dan Keamanan Data

Risiko kebocoran data meningkat dengan penggunaan platform daring. Oleh karena itu, perlindungan data pribadi siswa dan guru harus menjadi prioritas utama dalam kebijakan pembelajaran digital (Redhana, 2024).

4) Kelelahan Digital

Sesi pembelajaran daring yang terlalu intens dapat menyebabkan kelelahan digital bagi siswa dan guru. Solusi seperti jeda terencana dan pengaturan waktu layar yang seimbang diperlukan untuk mengurangi dampak negatif ini.

e. Perbandingan Pembelajaran Digital dengan Pembelajaran Online

Pembelajaran digital dan pembelajaran online sering dianggap sama, namun keduanya memiliki perbedaan yang jelas dalam cakupan dan implementasi (Moore et al., 2011; Singh & Thurman, 2021). Pembelajaran digital mencakup semua bentuk pembelajaran yang difasilitasi oleh teknologi digital, baik yang memerlukan internet maupun tidak. Dalam pembelajaran digital, perangkat seperti komputer, tablet, ponsel pintar, dan perangkat lunak edukasi digunakan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif dan fleksibel. Misalnya, pembelajaran digital

dapat mencakup simulasi interaktif, penggunaan aplikasi pendidikan, serta video pembelajaran yang dapat diakses secara luring (Means et al., 2021; Sangrà et al., 2021). Hal ini menjadikan pembelajaran digital bersifat lebih luas dibandingkan pembelajaran online, karena mencakup elemen luring yang tidak memerlukan koneksi internet secara langsung. Sebaliknya, pembelajaran online merupakan subkategori dari pembelajaran digital yang sepenuhnya mengandalkan koneksi internet untuk proses pembelajarannya. Dalam pembelajaran online, platform seperti Learning Management Systems (LMS), ruang kelas virtual, dan alat komunikasi berbasis web digunakan untuk menyediakan materi dan berinteraksi secara langsung atau tidak langsung antara pendidik dan peserta didik (Dhawan, 2021). Mode ini menciptakan kesempatan belajar yang fleksibel, memungkinkan peserta didik untuk belajar di mana saja dengan akses ke internet.

Menurut Firdaus et al. (2019), pembelajaran digital mencakup konsep *Ubiquitous Learning*, yaitu pembelajaran yang memungkinkan siswa untuk belajar kapan saja dan di mana saja menggunakan teknologi berbasis digital seperti perangkat mobile, cloud computing, dan jaringan nirkabel. Model ini mendukung pembelajaran yang berkelanjutan, memungkinkan siswa untuk mendapatkan pengalaman belajar yang lebih fleksibel dan kontekstual. Bonk and Khoo (2021) menyatakan bahwa pembelajaran digital melibatkan berbagai pendekatan, termasuk gamifikasi, pembelajaran adaptif berbasis kecerdasan buatan, dan model pembelajaran campuran (*blended learning*). Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk mendapatkan pengalaman belajar yang lebih personal dan terintegrasi dengan kebutuhan individu mereka. Picciano (2021) menekankan bahwa pembelajaran digital melibatkan berbagai model, mulai dari pembelajaran berbantuan teknologi dalam kelas fisik hingga kursus daring penuh. Selain itu, pembelajaran digital tidak hanya mendukung pembelajaran berbasis konten tetapi juga mendorong interaksi dan kolaborasi melalui alat digital.

Pembelajaran online, sebagai bagian dari pembelajaran digital, menitikberatkan pada penggunaan internet sebagai sarana utama untuk menyampaikan materi dan berinteraksi dengan siswa. Venkatesh et al. (2020) menyatakan bahwa model pembelajaran online berbasis WLAN (Wireless Local Area Network) sangat berguna dalam mendukung aksesibilitas pendidikan. Mereka

juga menemukan bahwa penerimaan teknologi yang baik memainkan peran penting dalam keberhasilan implementasi pembelajaran online.

Dhawan (2021) menyoroti bahwa pembelajaran online memfasilitasi fleksibilitas dalam belajar, memungkinkan siswa untuk mengatur waktu mereka sendiri, baik melalui mode sinkron (seperti kelas virtual) maupun asinkron (seperti modul belajar mandiri). Namun, keberhasilan pembelajaran online sangat tergantung pada ketersediaan infrastruktur teknologi, seperti koneksi internet yang stabil, perangkat yang memadai, dan keterampilan digital siswa. Van Wart et al. (2021) mencatat bahwa meskipun pembelajaran online memiliki keunggulan dalam hal aksesibilitas, model ini juga menghadapi tantangan seperti isolasi sosial, rendahnya motivasi siswa, dan kurangnya keterlibatan langsung dengan instruktur.

Perbedaan Utama Antara Pembelajaran Digital dan Pembelajaran Online

- 1) Cakupan Teknologi: Pembelajaran digital melibatkan berbagai teknologi digital, baik daring maupun luring, sedangkan pembelajaran online sepenuhnya bergantung pada platform berbasis internet (Bozkurt & Sharma, 2021).
- 2) Kebutuhan Konektivitas: Pembelajaran digital dapat dilakukan tanpa koneksi internet, sementara pembelajaran online memerlukan koneksi internet yang aktif untuk berfungsi secara optimal (Hodges et al., 2020).
- 3) Mode Interaksi: Pembelajaran online lebih mengutamakan interaksi langsung melalui ruang kelas virtual atau forum diskusi daring. Sebaliknya, pembelajaran digital dapat mencakup aktivitas belajar mandiri tanpa interaksi langsung (Martin & Bolliger, 2021).
- 4) Fleksibilitas Lokasi dan Waktu: Pembelajaran digital menawarkan fleksibilitas yang lebih luas karena dapat diakses secara luring, sementara pembelajaran online lebih terbatas pada lokasi dengan koneksi internet yang tersedia (Venkatesh et al., 2020).

6. Teori APOS

a. Pengertian dan Landasan Teori APOS

Teori APOS adalah kerangka konstruktivis dalam pendidikan matematika yang dirancang untuk memahami bagaimana siswa membangun pengetahuan matematis. Teori ini dikembangkan oleh Dubinsky and McDonald (2001) berdasarkan epistemologi genetik Piaget, yang berfokus pada pembelajaran matematika di tingkat universitas.

Menurut Dubinsky, pembelajaran terjadi ketika siswa membangun struktur mental melalui mekanisme mental. Struktur dasar teori APOS meliputi:

- 1) *Action* (Aksi): Respon langsung terhadap stimulus eksternal. Misalnya, menghitung sesuatu tanpa memahami alasan di balik prosedur tersebut.
- 2) *Process* (Proses): Internalisasi aksi menjadi proses mental yang dapat diulang dan dimodifikasi.
- 3) *Object* (Objek): Tahapan di mana proses diperlakukan sebagai entitas tunggal, memungkinkan siswa untuk melakukan manipulasi lebih lanjut.
- 4) *Schema* (Skema): Struktur mental yang mengintegrasikan aksi, proses, dan objek menjadi kerangka koheren yang dapat diterapkan untuk memecahkan masalah kompleks (Arnon et al., 2014) (Tuktamyshov & Gorskaya, 2024b).

b. Implementasi Teori APOS dalam Pendidikan Matematika

Teori APOS digunakan untuk merancang strategi pembelajaran yang bertujuan membangun struktur mental siswa. Pendekatan ini melibatkan beberapa langkah:

- 1) *Analisis Teoretis*: Menyusun model genetik untuk mendeskripsikan struktur mental yang diperlukan dalam mempelajari konsep tertentu. Misalnya, model genetik dapat digunakan untuk memahami bagaimana siswa mempelajari konsep integral atau aljabar linier (Arnawa et al., 2021).
- 2) *Desain dan Implementasi Strategi Instruksional*
Strategi pengajaran berbasis APOS menggunakan siklus ACE (Activities, Class Discussion, Exercises), yang mendorong siswa merefleksikan dan menginternalisasi konsep.

- a) *Activities (Aktivitas)*: Tugas awal untuk membangun aksi.
 - b) *Class Discussion (Diskusi Kelas)*: Mendorong siswa mendiskusikan refleksi mereka terhadap aktivitas.
 - c) *Exercises (Latihan)*: Memberikan tugas tambahan untuk memperkuat pemahaman (Dubinsky & McDonald, 2001).
- 3) *Pengumpulan dan Analisis Data*
- Hasil pembelajaran dibandingkan dengan model genetik untuk memvalidasi efektivitas pendekatan dan memperbaiki desain instruksional jika diperlukan (Venkatesh et al., 2020). Studi oleh (Venkatesh et al., 2020) (Arnawa et al., 2021) menunjukkan bahwa pendekatan berbasis APOS meningkatkan pemahaman konseptual siswa, terutama dalam aljabar linier. Misalnya, siswa dapat mempelajari transformasi linier dengan lebih baik melalui proses enkapsulasi dan refleksi.
- c. *Keunggulan Teori APOS*
- Teori APOS memiliki beberapa keunggulan:
1. *Pendekatan Konstruktivis*
- Teori ini mendorong siswa untuk membangun pengetahuan secara aktif melalui refleksi dan eksplorasi, dengan guru sebagai fasilitator. Pendekatan ini membantu siswa memahami konsep matematika secara mendalam, bukan sekadar menghafal prosedur (Arnon et al., 2014).
2. *Efektivitas pada Berbagai Tingkat Pemahaman*
- APOS dapat digunakan untuk siswa dengan berbagai tingkat latar belakang akademik. Studi oleh (Arnawa et al., 2021) (Venkatesh et al., 2020) menunjukkan bahwa siswa dengan pemahaman awal yang lemah dapat meningkatkan pencapaian mereka secara signifikan melalui pendekatan ini.
3. *Integrasi Teknologi dalam Pembelajaran*
- Teori APOS memanfaatkan perangkat lunak seperti Maple atau GeoGebra untuk mendukung pembelajaran. Teknologi ini membantu siswa memvisualisasikan konsep abstrak dan mempraktikkan enkapsulasi konsep matematis. Hal ini meningkatkan keterlibatan siswa dan membantu mereka memahami hubungan antara teori dan aplikasi nyata (Tuktamyshov & Gorskaya, 2024a).

d. Contoh Penerapan Teori APOS dalam Pembelajaran

1) Pembelajaran Teori Himpunan

Tahap *Action* (Aksi)

Pada tahap ini, transformasi objek yang dilakukan sebagai respons terhadap instruksi eksternal. Aksi ini dilakukan secara eksplisit atau berdasarkan langkah-langkah memori yang dipandu oleh stimuli eksternal. Contoh: Menghitung irisan dari dua himpunan A dan B, misalnya $A = \{1, 2, 3\}$ dan $B = \{2, 3, 4\}$, maka $A \cap B = \{2, 3\}$. Proses ini dilakukan dengan langkah eksplisit membandingkan elemen-elemen dari kedua himpunan.

Tahap *Process* (Proses)

Aksi yang berulang dan direnungkan (*interiorisasi*) menjadi sebuah konstruksi mental internal. Proses ini memungkinkan seseorang membayangkan langkah-langkah aksi tanpa perlu melakukannya secara nyata. Contoh: Membayangkan atau menjelaskan tanpa perhitungan langsung bahwa irisan dari dua himpunan A dan B terdiri dari elemen-elemen yang terdapat di kedua himpunan.

Tahap *Object* (Objek)

Proses yang diringkas menjadi sebuah objek yang utuh. Objek ini memungkinkan seseorang untuk melakukan transformasi lebih lanjut tanpa memikirkan langkah-langkah spesifik proses sebelumnya. Contoh: Menganggap $A \cap B$ sebagai himpunan tersendiri yang memiliki sifat-sifat tertentu, misalnya $A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ dan } x \in B\}$, dan menggunakannya dalam operasi lebih lanjut, seperti menentukan himpunan komplementnya.

Tahap *Schema* (Skema)

Ciri Khas: Pengorganisasian aksi, proses, dan objek dalam kerangka mental yang lebih kompleks dan luas untuk memecahkan masalah baru. Contoh: Menggunakan konsep irisan, gabungan, dan komplemen himpunan secara simultan untuk menyelesaikan masalah seperti mencari $(A \cup B) \cap C^c$ dengan mempertimbangkan hubungan antara himpunan-himpunan tersebut.

2) Pembelajaran Kombinasi Linear

Tahap Action (Aksi)

Pada tahap ini, mahasiswa melakukan operasi penjumlahan dua vektor secara manual berdasarkan instruksi eksplisit. Tahap ini menekankan pada pengulangan operasi hingga mahasiswa memahami dasar penjumlahan vektor. Contoh: mahasiswa menjumlahkan dua vektor berbeda arah dan besar, seperti u dan v misalnya $w=2u+3v$.

Tahap Process (Proses)

Pada tahap ini, mahasiswa mulai memahami pola dan hubungan antara vektor tanpa harus melakukan perhitungan eksplisit setiap kali. Mahasiswa mampu membayangkan hasil kombinasi linear tanpa melakukan operasi langsung. Misalnya, untuk: $w=3u+5v$ mereka menyadari bahwa w adalah vektor baru yang terbentuk dari kontribusi $3u$ dan $5v$. Tahap ini menunjukkan pengembangan kemampuan mental untuk menggeneralisasi konsep kombinasi linear.

Tahap Object (Objek)

Pada tahap ini, mahasiswa memandang kombinasi linear sebagai objek matematis baru yang dapat digunakan dalam operasi lanjutan. Jika $w=3u+5v$, mahasiswa memahami bahwa w adalah vektor baru. Mereka dapat melakukan operasi lebih lanjut, seperti transformasi linier T pada w . $T(w)=T(3u+5v)=3T(u)+5T(v) = 3T(u)+5T(v)$. Tahap ini menekankan pada kemampuan untuk memanipulasi kombinasi linear sebagai satu entitas.

Tahap Schema (Skema)

Pada tahap ini, mahasiswa mampu mengintegrasikan pemahaman dari aksi, proses, dan objek ke dalam kerangka kerja yang lebih luas. Mereka dapat menghubungkan kombinasi linear dengan konsep ruang vektor, basis, dan dimensi. Jika v_1 dan v_2 adalah basis dari ruang R^2 , maka setiap vektor w dapat direpresentasikan sebagai kombinasi linear: $w=c_1v_1+c_2v_2$, di mana c_1 dan c_2 adalah skalar. Tahap ini menunjukkan integrasi pemahaman bahwa semua vektor dalam ruang vektor dapat direpresentasikan sebagai kombinasi linear dari basis.

7. *Realistic Mathematics Education (RME)*

a. Pengertian *RME*

RME adalah teori pengajaran yang berfokus pada konteks dunia nyata untuk menjadikan pembelajaran matematika lebih relevan dan bermakna bagi siswa. Dikembangkan oleh Hans Freudenthal pada 1973 di Belanda, RME menekankan bahwa matematika adalah aktivitas manusia yang berhubungan langsung dengan realitas dan pengalaman sehari-hari. Freudenthal menggambarkan matematika sebagai kegiatan penemuan ulang secara terbimbing (*guided reinvention*), di mana siswa membangun pengetahuan melalui eksplorasi dan refleksi. Dalam kerangka RME, **konsep matematisasi menjadi inti utama** yang menjelaskan bagaimana pembelajaran berlangsung dari konteks menuju abstraksi. Freudenthal mengidentifikasi dua jenis matematisasi:

1. Matematisasi Horizontal: Proses menggunakan alat matematika untuk menyusun dan menyelesaikan masalah dalam konteks nyata.
2. Matematisasi Vertikal: Proses mengorganisasi ulang dalam sistem matematika itu sendiri untuk menghasilkan hubungan yang lebih mendalam antar konsep atau menemukan metode yang lebih efisien (Van Zanten & den Heuvel-Panhuizen, 2021).

Matematisasi dalam RME berperan sebagai mekanisme utama dalam pembentukan makna matematis, di mana mahasiswa secara bertahap menghubungkan pengalaman nyata dengan representasi formal. Dengan demikian, RME tidak hanya menekankan penggunaan konteks, tetapi juga proses transformasi konsep secara sistematis melalui matematisasi.

b. Prinsip Utama RME

RME memiliki enam prinsip utama yang menjadi pedoman dalam implementasinya (Gravemeijer & Doorman, 1999a):

- 1) *Guided Reinvention*: Siswa diarahkan untuk menemukan kembali konsep matematika melalui eksplorasi masalah nyata dengan bimbingan guru. Prinsip ini bertujuan untuk mengaktifkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran.
- 2) *Didactical Phenomenology*: Konsep matematika diperkenalkan dari fenomena nyata untuk menunjukkan bagaimana konsep itu muncul dan

digunakan. Pendekatan ini membantu siswa memahami relevansi matematika dalam kehidupan mereka.

- 3) *Use of Symbols and Models*: Pembelajaran dimulai dari model konkret, seperti representasi visual atau manipulatif, yang secara bertahap berkembang menjadi model formal untuk berpikir abstrak.
- 4) *Interactive Learning*: Interaksi antara siswa, serta diskusi dengan guru, mendorong pemahaman konsep melalui berbagai perspektif. Prinsip ini menciptakan ruang bagi siswa untuk saling belajar dan mengevaluasi pendekatan mereka sendiri.
- 5) *Students' Own Contributions*: Siswa didorong untuk menyampaikan ide, strategi, dan cara penyelesaian masalah mereka sendiri. Pendekatan ini membangun rasa percaya diri dan tanggung jawab siswa terhadap pembelajaran mereka.
- 6) *Contextual Learning*: Konsep matematika diajarkan dalam konteks yang relevan, memungkinkan siswa membangun pemahaman awal sebelum menuju abstraksi formal.

c. Implementasi RME dalam Pendidikan Matematika

Implementasi RME dimulai dengan memperkenalkan situasi dunia nyata sebagai titik awal pembelajaran. Konteks tersebut digunakan untuk memfasilitasi proses matematisasi, di mana mahasiswa secara bertahap membangun pemahaman dari representasi informal menuju konsep formal. Proses ini mencerminkan pergerakan dari matematisasi horizontal ke matematisasi vertikal, yang memungkinkan mahasiswa mengembangkan pemahaman secara bertahap dan terstruktur. Penggunaan model dan representasi visual berperan penting dalam membantu mahasiswa menghubungkan konteks dengan konsep matematika.

- 1) *Matematisasi dalam Konteks Nyata*: Sebagai contoh, Van Zanten and den Heuvel-Panhuizen (2021) menggunakan konsep pecahan untuk mengajarkan rasio melalui situasi pembagian kelompok dalam pesta. Pendekatan ini membantu siswa memvisualisasikan konsep matematika dengan lebih jelas.
- 2) *Progressive Schematization*: Van Zanten and den Heuvel-Panhuizen (2021) mengembangkan metode pengajaran aritmatika berbasis skematisasi

progresif, di mana siswa diajak untuk beralih dari metode manual ke algoritma formal melalui langkah-langkah yang terstruktur.

- 3) Teknologi dalam RME: Penelitian terbaru menunjukkan bahwa teknologi seperti aplikasi berbasis AI dapat mendukung implementasi RME. Aplikasi ini memberikan simulasi interaktif yang membantu siswa memahami konsep abstrak dengan cara yang menarik (Jordaan et al., 2023).
- 4) Kolaborasi Global: Penggunaan platform digital memungkinkan siswa terhubung dengan rekan-rekan dari berbagai negara, menciptakan pengalaman belajar yang lintas budaya dan memperluas wawasan mereka tentang penggunaan matematika di dunia nyata (Redhana, 2024).

d. Keunggulan RME dalam Pendidikan Matematika

RME memiliki berbagai keunggulan yang menjadikannya pendekatan unggul dalam pendidikan matematika:

1) Relevansi

Dengan menghubungkan matematika dengan situasi nyata, RME membuat pembelajaran menjadi lebih relevan bagi siswa. Hal ini meningkatkan motivasi belajar siswa, karena mereka melihat bagaimana matematika digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

2) Keterlibatan Aktif

Siswa tidak hanya menerima informasi, tetapi juga terlibat aktif dalam proses pembelajaran melalui diskusi, eksplorasi, dan refleksi.

3) Pengembangan Keterampilan Generalisasi

RME membantu siswa mengembangkan keterampilan berpikir kritis yang dapat diterapkan dalam berbagai situasi. Penelitian oleh Tong et al. (2022)(Redhana, 2024) menunjukkan bahwa pendekatan RME meningkatkan kemampuan siswa dalam memahami hubungan antara konsep-konsep matematika.

4) Meningkatkan Hasil Belajar

Penelitian menunjukkan bahwa siswa yang diajar menggunakan pendekatan RME memiliki hasil belajar yang lebih baik dibandingkan dengan metode tradisional, terutama dalam memahami konsep dan aplikasi matematis.

e. Tantangan dalam Implementasi RME

Meskipun memiliki banyak keunggulan, implementasi RME tidak terlepas dari tantangan:

1. Efektivitas RME sangat bergantung pada kemampuan guru dalam merancang dan melaksanakan pembelajaran berbasis konteks. Banyak guru masih memerlukan pelatihan tambahan untuk memahami prinsip-prinsip RME.
2. Mengintegrasikan RME ke dalam kurikulum yang sudah ada dapat menjadi tantangan, terutama di sistem pendidikan yang masih menggunakan metode pengajaran tradisional.

8. Aljabar Linier dan Konsep Vektor

a. Pengertian

Aljabar linier adalah cabang matematika yang mempelajari ruang vektor, matriks, transformasi linier, dan sistem persamaan linier. Dalam konteks program studi Sistem Informasi dan prodi manajemen informatika, aljabar linier menyediakan landasan penting untuk analisis data, pengembangan algoritma, dan pemodelan sistem kompleks.

b. Komponen Kunci

1) Vektor dan Matriks

Digunakan untuk merepresentasikan data dalam bentuk numerik, seperti pada pengolahan gambar digital, basis data multidimensional, dan algoritma pembelajaran mesin.

2) Transformasi Linier

Diterapkan untuk mereduksi dimensi data melalui teknik seperti PCA (*Principal Component Analysis*), yang sering digunakan dalam analitik data dan kecerdasan buatan.

3) Sistem Persamaan Linier

Digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi dalam pemrograman linier dan simulasi operasi bisnis (Hammarling & Higham, 2022).

c. Pentingnya Aljabar Linier dalam Sistem Informasi dan Manajemen Informatika

Dalam sistem informasi dan manajemen informatika, aljabar linier menjadi dasar untuk memahami dan mengimplementasikan berbagai teknologi modern, seperti:

1) Analisis Data Besar

Aljabar linier digunakan dalam memproses dan menganalisis data dalam jumlah besar menggunakan teknik seperti dekomposisi matriks (misalnya, SVD) untuk menemukan pola dan hubungan antar data.

2) Kecerdasan Buatan dan Pembelajaran Mesin

Algoritma pembelajaran mesin, seperti regresi linier, jaringan saraf tiruan, dan analisis sentimen, memanfaatkan konsep matriks dan vektor untuk melatih model dan membuat prediksi.

3) Optimasi Sistem

Dalam desain dan analisis sistem informasi, aljabar linier digunakan untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya, meningkatkan efisiensi jaringan, dan menyelesaikan masalah sistem yang kompleks (Redhana, 2024).

4) Visualisasi Data Multidimensional

Teknik seperti PCA membantu dalam mengurangi dimensi data, memungkinkan visualisasi pola yang lebih jelas dalam data multidimensional, yang penting dalam dashboard manajemen informasi.

d. Konsep Vektor dalam Aljabar Linier

1) Definisi dan Representasi dalam Sistem Informasi

Vektor adalah entitas matematis yang direpresentasikan sebagai daftar elemen numerik, seperti $v = [v_1, v_2, \dots, v_n]$. Dalam sistem informasi, vektor digunakan untuk: Merepresentasikan atribut pengguna dalam sistem rekomendasi, dan mengkodekan data teks sebagai vektor numerik dalam analisis teks atau pencarian dokumen.

2) Linear Independence dan Basis

Dalam sistem informasi, ketergantungan linier digunakan untuk mengidentifikasi atribut redundan dalam dataset. Basis ruang vektor

membantu memfasilitasi pengurangan dimensi tanpa kehilangan informasi penting, meningkatkan efisiensi analisis data (H. Wang & Liu, 2024).

3) Transformasi Linier

Transformasi linier seperti rotasi dan skala digunakan dalam manipulasi citra digital. Selain itu, matriks transformasi sering diterapkan dalam algoritma enkripsi dan dekripsi data untuk memastikan keamanan sistem informasi.

e. Aplikasi Aljabar Linier dalam Sistem Informasi dan Manajemen Informatika

1) Pengolahan Data Besar

Dalam sistem informasi, aljabar linier mendukung analisis data besar melalui teknik seperti: Dekomposisi Nilai Singular (SVD): Memungkinkan pengurangan dimensi data tanpa kehilangan informasi penting. Digunakan dalam sistem rekomendasi seperti Netflix. Analisis Eigen: Mengidentifikasi pola utama dalam data multidimensional untuk analitik prediktif (Hammarling & Higham, 2022).

2) Pembelajaran Mesin dan Kecerdasan Buatan

Aljabar linier digunakan dalam pelatihan model pembelajaran mesin untuk: Membuat representasi data sebagai matriks untuk analisis jaringan social. Mempercepat perhitungan pada algoritma seperti regresi linier dan jaringan saraf tiruan dengan optimalisasi berbasis matriks.

3) Pemrosesan Citra Digital

Dalam pemrosesan citra, aljabar linier digunakan untuk Transformasi Fourier: Mengonversi sinyal spasial menjadi frekuensi, digunakan dalam kompresi citra. Filter Gambar untuk Meningkatkan kualitas gambar melalui operasi matriks.

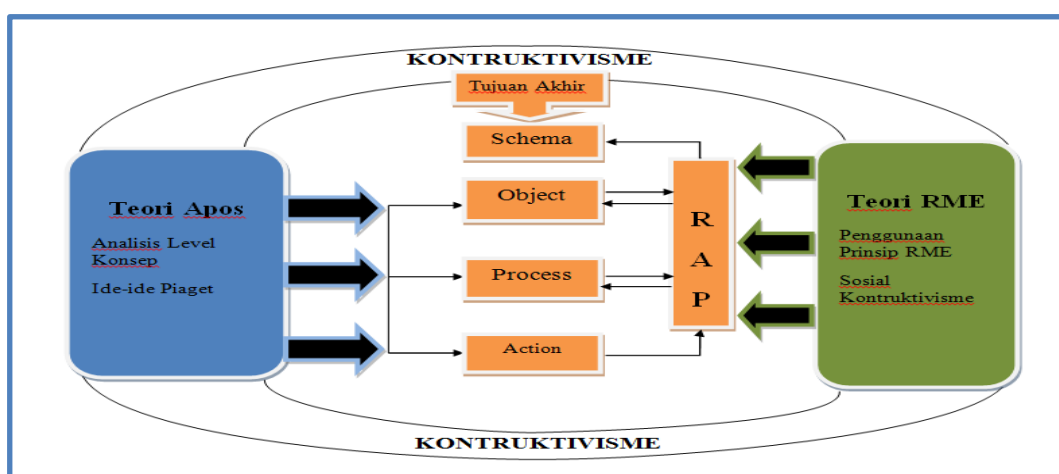
4) Pengembangan Sistem Informasi Geografis (SIG)

Transformasi linier diterapkan untuk memproyeksikan data spasial ke dalam sistem koordinat yang berbeda, memungkinkan analisis spasial yang lebih akurat.

9. Integrasi Teori dalam Desain Pembelajaran Matematika

Dalam penelitian ini, teori Piaget, APOS, dan konsep matematisasi dalam kerangka RME diintegrasikan dalam kerangka kerja konstruktivis untuk mendukung pengembangan pemahaman konseptual siswa terhadap ide-ide

matematika. Integrasi ini tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga memberikan arah bagaimana pembelajaran matematika dirancang secara sistematis dengan mempertimbangkan perkembangan kognitif dan proses matematisasi. Dalam kerangka ini, teori-teori yang digunakan tidak sekadar dipadukan, melainkan difungsikan sebagai landasan untuk merancang pembelajaran yang membawa siswa dari pengalaman kontekstual menuju pemahaman matematis formal. Integrasi tersebut memungkinkan penggabungan prinsip dan tema utama dari ketiga teori untuk membentuk pembelajaran yang lebih terarah, sebagaimana digambarkan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Integrasi teori Piaget, APOS, dan RME dalam kerangka kerja konstruktivisme

Teori Piaget menjelaskan perkembangan kognitif siswa melalui tahapan, dari konkret hingga operasional formal, dengan fokus pada konstruksi pengetahuan. Teori APOS memperluas proses ini dengan menggambarkan bagaimana aksi matematika berkembang menjadi proses yang terinternalisasi, kemudian menjadi objek mental, dan akhirnya diorganisasikan dalam bentuk skema yang terstruktur. Di sisi lain, kerangka *Realistic Mathematics Education* (RME) menekankan pentingnya konteks nyata dalam pembelajaran matematika. RME memandu siswa untuk bergerak dari penalaran informal ke abstraksi formal melalui matematisasi yang terarah, menggunakan situasi realistis sebagai pijakan awal pembelajaran. Dalam kerangka RME, matematisasi berperan sebagai mekanisme utama yang menjelaskan bagaimana mahasiswa membangun makna matematis dari konteks menuju bentuk formal. Dengan demikian, matematisasi tidak berdiri sebagai teori

yang terpisah, melainkan sebagai inti proses dalam RME yang menjembatani pengalaman kontekstual dengan abstraksi matematika.

1. Teori Piaget menjelaskan perkembangan kognitif siswa melalui tahapan, dari konkret hingga operasional formal, dengan fokus pada konstruksi pengetahuan. Teori APOS memperluas proses ini dengan menggambarkan bagaimana aksi matematika berkembang menjadi proses yang terinternalisasi, kemudian menjadi objek mental, dan akhirnya diorganisasikan dalam bentuk skema yang terstruktur. Sementara itu, konsep matematisasi dalam kerangka RME menempatkan konteks nyata sebagai titik awal pembelajaran matematika. Matematisasi memandu siswa bergerak dari penalaran informal menuju abstraksi formal melalui transformasi bertahap dari situasi kontekstual ke representasi matematis. Dalam kerangka ini, matematisasi berfungsi sebagai mekanisme yang menjelaskan bagaimana makna matematika dibangun dari pengalaman menuju struktur formal. Pembelajaran tidak dimulai dari simbol atau rumus, melainkan dari aktivitas memahami, merepresentasikan, dan mentransformasikan situasi nyata ke dalam bentuk matematis. Ketiga teori tersebut memiliki titik temu yang dapat dijelaskan melalui empat tahap perkembangan pemahaman: Tingkat Aksi (*Action*)

Siswa memulai dengan melakukan manipulasi langsung pada objek yang dikenalnya, baik objek fisik maupun mental. Sebagai contoh, siswa memanipulasi nilai-nilai tertentu untuk memahami hubungan dasar dalam matematika.

2. Tingkat Proses (*Process*)
Aksi yang dilakukan secara berulang membantu siswa mengenali pola atau hubungan, sehingga aksi tersebut berkembang menjadi proses mental yang kohesif. (Piaget, 1972) menjelaskan tahap ini sebagai transisi dari langkah-langkah terpisah menuju pemahaman tindakan secara menyeluruh.
3. Tingkat Objek (*Object*)
Proses yang terinternalisasi menjadi objek mental, yang memungkinkan siswa untuk memanipulasinya secara abstrak dan menggunakannya untuk

membangun konsep lebih lanjut. Tahap ini menandai pergeseran dari aktivitas prosedural menuju pemahaman konseptual.

4. Tingkat Skema (*Schema*)

Pada tahap ini, siswa mampu mengintegrasikan berbagai objek dan proses menjadi kerangka kerja terstruktur yang mendukung penalaran tingkat tinggi.

Integrasi ketiga teori ini menunjukkan kontribusi yang saling melengkapi. Piaget memberikan landasan perkembangan kognitif, APOS menyediakan kerangka analisis terhadap tingkat pemahaman, sedangkan matematisasi menjelaskan bagaimana makna matematika dibangun dari konteks. Dalam hubungan ini, matematisasi berperan sebagai proses eksternal pembentukan makna, sementara APOS menjelaskan bagaimana makna tersebut diinternalisasi dalam struktur kognitif mahasiswa. Integrasi yang terbentuk bukan sekadar penggabungan konsep, tetapi menggambarkan keterkaitan antara proses pembentukan makna dan perkembangan struktur berpikir. Dalam konteks penelitian ini, prinsip matematisasi digunakan untuk merancang pembelajaran yang dimulai dari konteks yang dikenal siswa sebelum bergerak menuju abstraksi. Teori APOS kemudian digunakan untuk memahami perkembangan kognitif yang terjadi selama proses tersebut. Alur pembelajaran bergerak dari matematisasi horizontal, yang menekankan pemahaman konteks dan representasi informal, menuju matematisasi vertikal yang mencakup formalisasi, generalisasi, dan penyusunan struktur konsep. Pola ini menunjukkan keterkaitan antara proses eksternal pembentukan makna dan proses internal pembentukan struktur kognitif. Pendekatan ini sejalan dengan konstruktivisme yang menempatkan pembelajaran sebagai proses aktif, melibatkan interaksi sosial, dan berkembang secara bertahap. Pembelajaran matematika tidak lagi berfokus pada penyelesaian prosedural, tetapi pada pembentukan pemahaman konseptual yang lebih mendalam. Melalui proses tersebut, siswa dapat menghubungkan pengetahuan informal dengan struktur matematika formal secara lebih bermakna.

Dalam konteks pembelajaran digital, integrasi teori ini menjadi semakin relevan karena praktik pembelajaran digital masih sering terbatas pada penyampaian materi dan tugas. Pemanfaatan teknologi perlu diarahkan untuk mendukung proses berpikir, bukan sekadar sebagai media distribusi. Teknologi

dalam hal ini berperan sebagai sarana untuk memperkuat proses matematisasi dan perkembangan kognitif. Alat digital seperti GeoGebra, MATLAB, dan aplikasi berbasis kecerdasan buatan menyediakan representasi visual yang membantu siswa memahami konsep abstrak seperti transformasi linier, ruang vektor, dan sistem persamaan linier. Representasi ini membantu siswa melihat hubungan antar konsep dan membangun pemahaman secara bertahap. Penggunaan representasi visual juga sejalan dengan teori beban kognitif yang menekankan pentingnya pengelolaan beban kognitif melalui penyajian informasi yang terstruktur dan multimodal (Sweller et al., 2019). Representasi visual dan alat digital membantu mengurangi beban kognitif ekstrinsik, sehingga perhatian siswa dapat difokuskan pada pemahaman konsep dan relasi matematis. Dalam konteks ini, visualisasi berperan sebagai bagian dari proses matematisasi, khususnya dalam mentransformasikan representasi informal menuju bentuk formal.

Dalam konteks teori Piaget, teknologi mendukung proses refleksi dan memungkinkan siswa berasimilasi serta berakomodasi terhadap pengetahuan baru. Dengan APOS, teknologi memfasilitasi transisi siswa dari aksi ke skema melalui simulasi yang dirancang untuk memperkuat internalisasi proses matematis. Pada saat yang sama, teknologi memperkaya proses matematisasi dengan menghadirkan konteks yang lebih dinamis dan memungkinkan eksplorasi representasi secara fleksibel. Dalam pendekatan RME teknologi bisa digunakan untuk menghadirkan situasi kontekstual dan memungkinkan siswa menjelajahi aplikasi matematika secara mandiri dan relevan, sesuai dengan pengalaman mereka sehari-hari (Gravemeijer & Doorman, 1999a; Tuktamyshov & Gorskaya, 2024b). Selain memperkuat pembelajaran konseptual, teknologi juga meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa. Pendekatan berbasis matematisasi yang didukung teknologi membantu siswa melihat keterkaitan antara konteks nyata dan struktur matematika secara lebih jelas, sementara APOS menyediakan kerangka untuk menganalisis perkembangan kognitif siswa secara individual. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi alat digital ini membantu siswa melihat hubungan antara matematika abstrak dan fenomena dunia nyata, meningkatkan kemampuan mereka untuk menyelesaikan masalah kompleks. Dengan demikian, integrasi teknologi dalam teori Piaget, APOS, dan RME tidak hanya memperkuat pemahaman matematis

siswa, tetapi juga mempersiapkan mereka menghadapi tantangan dunia digital yang terus berkembang (Tuktamyshov & Gorskaya, 2024b).

10. Metode dan Strategi Pembelajaran untuk Meningkatkan CT

a. Pembelajaran Digital Berbasis APOS

Pembelajaran digital berbasis APOS merupakan pendekatan inovatif yang menggabungkan teori konstruktivis dengan teknologi digital untuk meningkatkan kemampuan CT. Teori APOS mendasarkan pembelajaran pada empat tahapan: aksi, proses, objek, dan skema, yang diterapkan melalui siklus ACE. Dalam konteks digital, teknologi digunakan untuk mendukung eksplorasi konsep interaktif, refleksi dalam diskusi virtual, dan penguatan konsep melalui latihan berbasis digital. Salah satu keunggulan pendekatan ini adalah kemampuan untuk mempersonalisasi pembelajaran sesuai kebutuhan siswa. Teknologi seperti GeoGebra memungkinkan visualisasi interaktif yang membantu siswa memahami konsep abstrak seperti transformasi linier dan hubungan spasial. Selain itu, umpan balik adaptif berbasis kecerdasan buatan mendukung siswa dalam mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan konseptual, sehingga mempercepat transisi dari aksi ke skema dalam proses pembelajaran. Dengan integrasi teknologi yang tepat, APOS dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa, mendukung refleksi, dan mempersiapkan mereka untuk tantangan analitis di era digital (Tuktamyshov & Gorskaya, 2024b). Namun, pendekatan ini menghadapi tantangan, seperti kurangnya infrastruktur digital di beberapa wilayah dan kebutuhan pelatihan guru untuk mengintegrasikan teknologi secara efektif. Strategi yang dirancang untuk mengatasi hambatan ini, seperti pelatihan berbasis simulasi dan penguatan infrastruktur pendidikan, dapat memperluas penerapan APOS dalam pembelajaran digital (S. Fukui et al., 2024b).

b. Penerapan RME dalam Pembelajaran Digital

RME adalah pendekatan pembelajaran berbasis konteks dunia nyata yang relevan untuk meningkatkan CT. RME menggunakan prinsip matematisasi horizontal dan vertikal, yang memungkinkan siswa memodelkan masalah nyata serta mengabstraksikan solusi untuk diterapkan pada situasi lain. Dalam pembelajaran digital, teknologi seperti GeoGebra dan simulasi berbasis VR memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan interaktif, mendukung

siswa dalam memahami konsep kompleks seperti hubungan grafik dan persamaan (Van Zanten & den Heuvel-Panhuizen, 2021). Selain itu, gamifikasi berbasis konteks dunia nyata memberikan peluang untuk memperkuat pemahaman siswa. Misalnya, permainan yang melibatkan pengelolaan keuangan rumah tangga dapat membantu siswa memahami konsep rasio dan persentase secara praktis. Interaksi sosial dalam ruang kelas virtual atau forum diskusi daring menciptakan lingkungan belajar kolaboratif yang sejalan dengan prinsip RME, meningkatkan keterlibatan siswa dan mendorong pengembangan kemampuan CT mereka (Jordaan et al., 2023). Meskipun pembelajaran berbasis RME memperluas akses alat pembelajaran bagi siswa dari berbagai latar belakang sosial-ekonomi, implementasinya tetap menghadapi tantangan seperti kesenjangan teknologi dan kurangnya kompetensi guru. Untuk mengatasi hambatan ini, program pelatihan profesional bagi guru dan investasi dalam infrastruktur digital sangat diperlukan (Alenezi, 2023b).

c. APOS dan RME dalam Pembelajaran Digital untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Vektor dan CT Mahasiswa

Pendekatan APOS dan RME menawarkan kerangka konseptual yang saling melengkapi dalam pembelajaran digital, khususnya untuk mendukung pemahaman konsep vektor dan pengembangan CT mahasiswa. Teori APOS membantu mahasiswa melalui tahapan aksi, proses, objek, hingga skema. Dengan bantuan teknologi seperti GeoGebra, mahasiswa dapat memvisualisasikan operasi dasar vektor secara langsung, yang mempermudah pemahaman hubungan spasial dan linearitas. Sementara itu, RME memberikan konteks dunia nyata sebagai pijakan awal pembelajaran. Misalnya, konsep vektor dalam navigasi pesawat dapat digunakan untuk menunjukkan aplikasi praktis dari ruang vektor dan transformasi linier. Dengan matematisasi horizontal dan vertikal, mahasiswa mampu menghubungkan teori abstrak dengan situasi nyata, meningkatkan kemampuan mereka untuk menggeneralisasi konsep dalam berbagai konteks. Selain meningkatkan pemahaman konsep, kedua pendekatan ini mendukung keterampilan CT melalui dekomposisi masalah kompleks, analisis pola, dan pengembangan algoritma. Simulasi berbasis MATLAB, misalnya, memungkinkan mahasiswa menyelesaikan masalah berbasis vektor dalam optimasi transportasi, yang memperkuat logika analitis dan kritis mereka. Pendekatan ini memberikan

pembelajaran yang lebih relevan dan interaktif, sejalan dengan kebutuhan mahasiswa dalam era digital (S. Fukui et al., 2024b)(S. Fukui et al., 2024b).

d. Relevansi Materi Vektor dalam Aljabar Linear terhadap Pengembangan *Computational Thinking*

Pemilihan materi vektor dalam penelitian ini didasarkan pada pertimbangan konseptual dan pedagogis yang kuat. Secara konseptual, struktur aljabar linear, khususnya topik vektor, memiliki karakteristik yang selaras dengan kerangka Computational Thinking atau CT. Secara pedagogis, materi ini menyediakan ruang yang kaya untuk melatih proses berpikir sistematis yang mencakup dekomposisi, abstraksi, pengenalan pola, perancangan algoritma, dan evaluasi (Schute et al., 2017; Wing, 2006). Oleh karena itu, pemilihan materi vektor bukan sekadar keputusan kurikuler, tetapi merupakan strategi yang dirancang untuk mengoptimalkan pengembangan dimensi CT secara terintegrasi dalam pembelajaran matematika di perguruan tinggi. Dari aspek dekomposisi, konsep vektor secara inheren menuntut mahasiswa untuk mengurai suatu struktur matematis menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan terorganisasi. Representasi vektor dalam basis ortonormal, seperti $v = 3i + 4j$, menunjukkan bagaimana suatu objek matematis dapat dipecah menjadi elemen penyusunnya. Dalam penyelesaian masalah pada ruang berdimensi lebih tinggi, mahasiswa harus mengidentifikasi variabel, menentukan kendala, serta memisahkan permasalahan kompleks menjadi submasalah yang lebih terkelola. Aktivitas tersebut secara langsung merefleksikan praktik dekomposisi dalam CT, yaitu memecah kompleksitas menjadi bagian-bagian yang dapat dianalisis secara sistematis.

Pada aspek abstraksi, materi vektor memungkinkan mahasiswa berpindah dari representasi kontekstual menuju representasi formal yang lebih umum. Vektor tidak hanya dipahami sebagai besaran berarah dalam fisika, tetapi juga sebagai representasi data dalam berbagai bidang, seperti kombinasi fitur dalam machine learning atau reduksi dimensi melalui eigenvektor dan eigenvalue dalam analisis komponen utama. Transformasi linear seperti rotasi dan dilatasi merepresentasikan abstraksi matematis dari perubahan posisi dan bentuk dalam grafika komputer. Dengan demikian, pembelajaran vektor melatih mahasiswa untuk mengekstraksi struktur esensial dari suatu fenomena dan mengabaikan detail yang tidak relevan,

yang merupakan inti dari proses abstraksi dalam CT. Selanjutnya, pengenalan pola berkembang melalui eksplorasi hubungan antarvektor, seperti kombinasi linear, ortogonalitas, dan dependensi linier. Mahasiswa belajar mengenali keteraturan struktural melalui produk skalar, misalnya ketika u dikalikan v menghasilkan nol yang menunjukkan ortogonalitas, atau melalui determinan matriks yang mengindikasikan keberadaan solusi unik dalam sistem persamaan linear. Proses ini tidak hanya bersifat prosedural, tetapi juga konseptual karena mahasiswa dituntut memahami pola hubungan yang mendasari berbagai representasi matematis.

Materi vektor juga secara signifikan mendukung perkembangan berpikir algoritmik. Banyak prosedur dalam aljabar linear dirancang dalam bentuk langkah-langkah sistematis, seperti metode eliminasi Gauss untuk menyelesaikan sistem persamaan linear atau algoritma Gram Schmidt untuk menghasilkan basis ortonormal. Dalam konteks ini, mahasiswa tidak hanya memahami konsep secara deklaratif, tetapi juga mengonstruksi prosedur operasional yang presisi dan dapat digeneralisasi. Karakter algoritmik tersebut menjadikan aljabar linear sebagai konteks yang alami untuk melatih dimensi desain algoritma dalam CT. Aspek evaluasi muncul ketika mahasiswa menilai keefektifan dan ketepatan solusi yang diperoleh. Evaluasi dilakukan melalui pemeriksaan dependensi linier suatu himpunan vektor, analisis norma vektor untuk mengukur galat dalam model regresi, maupun kajian kondisi matriks dalam analisis stabilitas numerik. Aktivitas ini mendorong mahasiswa untuk tidak hanya menerima hasil komputasi, tetapi juga mengkritisi kualitas dan generalitas solusi yang dihasilkan. Dengan demikian, dimensi evaluasi dalam CT berkembang melalui refleksi kritis terhadap proses dan hasil penyelesaian masalah.

Penelitian empiris memperkuat argumen tersebut. Weinberg and Thomas (2022) menunjukkan bahwa kesulitan mahasiswa dalam memahami konsep aljabar linear berkaitan erat dengan hambatan dalam berpikir kritis dan komputasional sehingga pembelajaran yang menekankan pemahaman konseptual vektor berpotensi meningkatkan CT. Integrasi analisis vektor dalam pembelajaran berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan pemecahan masalah komputasional mahasiswa. Pendekatan pedagogis dalam aljabar linear yang

menekankan struktur dan relasi vektor mendukung perkembangan CT secara sistematis.

B. Penelitian yang Relevan

Perkembangan pembelajaran digital dalam pendidikan tinggi menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemanfaatan *Learning Management System* (LMS). Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran digital masih didominasi pendekatan behavioristik yang menekankan penyampaian materi dan latihan prosedural, bukan konstruksi pengetahuan secara mendalam (Bond, Bedenlier, Martin, et al., 2020; Martin, Sun, et al., 2020b). Oleh karena itu, penting untuk menelaah penelitian-penelitian yang berkaitan dengan *Computational Thinking* (CT), teori APOS, pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME), serta pembelajaran digital untuk mengidentifikasi celah yang melandasi pengembangan Model ARICT. Ringkasan penelitian-penelitian yang relevan disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Penelitian yang Relevan

No	Peneliti & Tahun	Tujuan Penelitian	Metode	Temuan Utama
1	Bond et al. (2020)	Menganalisis penggunaan LMS dalam pendidikan tinggi	Systematic review	LMS banyak digunakan untuk distribusi materi dan asesmen; interaksi konstruktivistik masih terbatas
2	Martin et al. (2020)	Mengkaji praktik online learning di pendidikan tinggi	Meta-analysis	Pembelajaran daring masih berorientasi pada penyampaian konten dan instruksi langsung
3	Al-Rahmi et al., 2024	Mengulas aspek pedagogis e-learning di pendidikan tinggi	Conceptual Systematic review	CT mencakup Menyimpulkan strategi instruksional e-learning perlu berlandaskan teori belajar (konstruktivisme/sosiokultural), bukan hanya penyampaian konten
4	Zhang et al., (2023)	Mengkaji integrasi CT dalam pembelajaran matematika dan dampaknya pada belajar siswa	Systematic review	Menegaskan integrasi CT efektif, tetapi banyak studi masih kurang eksplisit dalam desain instruksi (alur aktivitas) dan keterkaitan CT-konsep matematika
5	Antasari et al. (2023)	Meningkatkan aktivitas dan hasil belajar matematika	Penelitian Tindakan Kelas	Aktivitas dan hasil belajar meningkat melalui pembelajaran kontekstual (RME) yang diorganisasi

No	Peneliti & Tahun	Tujuan Penelitian	Metode	Temuan Utama
		melalui pendekatan RME dengan kerangka APOS berbantuan GeoGebra		dengan tahapan APOS dan dukungan software GeoGebra.
6	Yilmaz & Dündar (2021)	Mengkaji proses pembentukan konsep <i>common divisor</i> dalam lingkungan belajar berbasis RME dengan analisis APOS	Studi kasus (kualitatif)	Lingkungan RME membantu siswa membangun konsep melalui mekanisme APOS (internalisasi–koordinasi–enkapsulasi), hingga mampu menentukan GCD secara bermakna.
7	Hsu et al. (2023)	Menganalisis efektivitas pembelajaran berbasis teknologi terhadap CT	Meta-analysis	Pendekatan konstruktivistik berbasis teknologi lebih efektif dibanding prosedural
8	Tikva & Tambouris (2022)	Menguji CT dalam lingkungan pembelajaran digital	Experimental study	Lingkungan digital reflektif meningkatkan abstraksi dan evaluasi
9	Sari et al. (2022)	Menguji integrasi Computational Thinking dalam pembelajaran matematika	Quasi-experimental	CT meningkat secara signifikan, namun belum dirancang melalui sintaks model pembelajaran terstruktur

Secara umum, penelitian-penelitian yang dikaji memiliki persamaan dengan penelitian ini dalam upaya meningkatkan kualitas pembelajaran matematika melalui pemanfaatan teknologi digital dan penguatan kemampuan berpikir tingkat tinggi, khususnya *Computational Thinking* (Al-Rahmi et al., 2024; Bond, Marín, et al., 2020; Martin, Sun, et al., 2020b) menyoroti pentingnya landasan pedagogis dalam pembelajaran digital, sementara (Hsu et al., 2023a; Tikva & Tambouris, 2021; Zhang, 2023) menegaskan efektivitas integrasi CT dalam pembelajaran berbasis teknologi. Di sisi lain, Antasari et al. (2023) dan Yilmaz & Dündar (2021) menunjukkan bahwa pendekatan RME yang dianalisis melalui kerangka APOS mampu memperkuat konstruksi konsep matematika. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih cenderung terpisah antara kajian CT, pembelajaran digital, dan

integrasi APOS–RME, serta belum merumuskan sintaks model pembelajaran digital yang eksplisit dan progresif.

Berdasarkan kajian tersebut, terlihat bahwa meskipun pembelajaran digital, *Computational Thinking*, serta pendekatan APOS dan RME telah banyak diteliti, integrasi ketiganya dalam satu model pembelajaran digital yang terstruktur masih terbatas. Penelitian tentang LMS dan e-learning lebih banyak menekankan efektivitas teknologi atau strategi instruksional secara umum, sedangkan studi CT cenderung berfokus pada hasil peningkatan kemampuan tanpa menjelaskan alur sintaks pembelajaran yang secara sistematis mengarahkan perkembangan kognitif mahasiswa. Sementara itu, penelitian berbasis APOS dan RME umumnya dilakukan dalam konteks tatap muka atau berbantuan perangkat lunak tertentu, bukan dalam sistem pembelajaran digital terintegrasi berbasis LMS. Dengan demikian, masih terdapat kebutuhan akan model pembelajaran digital yang secara eksplisit mengintegrasikan perkembangan kognitif APOS, konteks matematis RME, dan penguatan lima aspek *Computational Thinking* dalam satu kerangka operasional yang koheren.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan Model ARICT sebagai sintesis operasional antara teori APOS dan prinsip *Realistic Mathematics Education* dalam lingkungan pembelajaran digital berbasis LMS. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang menelaah CT, APOS, RME, atau pembelajaran digital secara parsial, penelitian ini merumuskan sintaks eksplisit dan progresif, yaitu *Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions*, dan *Transfer and Reflect*, yang secara sistematis mengarahkan perkembangan lima aspek *Computational Thinking*. Selain itu, model ini tidak hanya dikembangkan secara konseptual, tetapi juga diuji melalui analisis kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan pada pembelajaran Aljabar Linear, sehingga memberikan kontribusi teoretis sekaligus empiris dalam pengembangan pembelajaran digital konstruktivistik.

C. Definisi Konseptual dan Operasional

1. Definisi Konseptual

- a. Model Pembelajaran Digital Berbasis Integrasi APOS dan konsep matematisasi RME

Model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME) merupakan model pembelajaran yang dirancang sebagai sintesis antara struktur kognitif teori APOS (*Action–Process–Object–Schema*) dan prinsip pedagogis RME untuk mengarahkan konstruksi pengetahuan matematis secara bertahap dan kontekstual dalam lingkungan pembelajaran digital. Model ini memfasilitasi proses belajar mahasiswa melalui tahapan pembelajaran yang mendorong aktivasi konteks masalah, eksplorasi ide awal, penataan struktur konsep, pengembangan solusi secara sistematis, serta refleksi terhadap proses berpikir yang dilakukan.

b. *Computational Thinking*

Computational Thinking merupakan kemampuan berpikir yang melibatkan proses pemecahan masalah secara sistematis melalui aktivitas mendekomposisi masalah, mengenali pola, melakukan abstraksi, menyusun langkah penyelesaian secara algoritmik, serta mengevaluasi solusi yang dihasilkan. Dalam konteks pembelajaran matematika, kemampuan ini merepresentasikan proses berpikir terstruktur yang berkembang melalui aktivitas analisis masalah, pengorganisasian konsep, serta refleksi terhadap strategi penyelesaian yang digunakan.

2. Definisi Operasional

a. Model Pembelajaran Digital Berbasis Integrasi APOS dan RME

Model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan RME dalam penelitian ini diimplementasikan melalui pembelajaran berbasis *Learning Management System* (LMS) yang dilaksanakan melalui lima tahapan utama, yaitu aktivasi konteks pembelajaran, eksplorasi ide awal mahasiswa, interpretasi dan penataan struktur konsep, pengembangan solusi secara sistematis, serta refleksi dan transfer pemahaman ke situasi baru. Implementasi model diukur melalui keterlaksanaan sintaks pembelajaran, hasil validasi ahli terhadap perangkat pembelajaran, serta respons mahasiswa selama proses pembelajaran berlangsung.

b. *Computational Thinking*

Computational Thinking dalam penelitian ini diukur melalui tes kemampuan pemecahan masalah pada materi vektor yang diberikan sebelum dan sesudah pembelajaran. Instrumen tes dirancang untuk mengukur lima aspek kemampuan *Computational Thinking*, yaitu dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, penyusunan solusi algoritmik, dan evaluasi. Skor yang diperoleh dianalisis berdasarkan peningkatan kemampuan mahasiswa menggunakan indeks *N-Gain* serta dibandingkan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol untuk menilai efektivitas pembelajaran yang diterapkan.

D. Kerangka Berpikir

Kemampuan berpikir tingkat tinggi merupakan salah satu kompetensi penting dalam pendidikan abad ke-21. Perguruan tinggi tidak hanya diharapkan menghasilkan lulusan yang menguasai pengetahuan konseptual, tetapi juga mampu berpikir kritis, menganalisis permasalahan, dan merancang solusi secara sistematis. Dalam konteks tersebut, *Computational Thinking* (CT) berkembang sebagai pendekatan berpikir yang membantu individu memahami dan menyelesaikan permasalahan secara terstruktur melalui proses analisis, pengenalan pola, abstraksi, perancangan langkah penyelesaian, serta evaluasi terhadap solusi yang dihasilkan. Dalam pembelajaran matematika di perguruan tinggi, kemampuan ini memiliki peran penting karena pemecahan masalah matematis menuntut mahasiswa untuk mengidentifikasi struktur permasalahan, menghubungkan berbagai konsep, serta merancang strategi penyelesaian secara logis.

Berbagai penelitian dan temuan di lapangan menunjukkan bahwa kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa masih berada pada tingkat yang relatif rendah. Mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi komponen penting dari suatu permasalahan, mengenali keteraturan atau pola yang muncul, serta menyusun langkah penyelesaian secara sistematis. Kondisi tersebut tidak terlepas dari praktik pembelajaran yang masih berorientasi pada penyampaian materi dan latihan soal prosedural. Mahasiswa cenderung mengikuti langkah penyelesaian yang telah ditentukan tanpa memperoleh kesempatan yang cukup untuk mengeksplorasi ide, mengembangkan strategi pemecahan masalah, ataupun merefleksikan proses berpikir yang mereka lakukan.

Di sisi lain, penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran memang semakin luas, terutama melalui berbagai platform pembelajaran daring. Meskipun demikian, pemanfaatannya sering kali masih terbatas pada distribusi materi dan pengelolaan tugas. Potensi teknologi digital untuk mendukung eksplorasi konsep, interaksi pembelajaran, serta pengembangan proses berpikir mahasiswa belum sepenuhnya dimanfaatkan secara optimal. Kondisi ini menunjukkan perlunya pendekatan pembelajaran yang tidak hanya memanfaatkan teknologi sebagai media penyampaian materi, tetapi juga mampu mengarahkan proses belajar mahasiswa secara lebih terstruktur. Pembelajaran perlu dirancang sehingga mahasiswa memiliki kesempatan untuk mengaktivasi pengetahuan awal melalui konteks yang bermakna, mengeksplorasi berbagai kemungkinan penyelesaian masalah, menafsirkan informasi yang diperoleh, serta menstrukturkan pemahaman konsep secara bertahap.

Kerangka konseptual penelitian ini berangkat dari konstruktivisme sebagai landasan filosofis pembelajaran. Perspektif konstruktivisme memandang belajar sebagai proses aktif di mana pengetahuan dibangun melalui pengalaman, interaksi dengan lingkungan, dan refleksi terhadap proses berpikir. Dalam pandangan ini, mahasiswa berperan sebagai subjek yang secara aktif mengonstruksi pemahaman, bukan sekadar menerima informasi yang disampaikan oleh dosen. Proses konstruksi pengetahuan tersebut dijelaskan lebih lanjut melalui perspektif kognitivisme, yang menekankan bahwa belajar melibatkan berbagai proses mental internal seperti perhatian, representasi mental, serta pengorganisasian struktur pengetahuan dalam pikiran. Informasi baru diproses dan diintegrasikan dengan pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya sehingga membentuk pemahaman yang lebih terstruktur. Penelitian ini juga menggunakan teori pemrosesan informasi untuk menjelaskan mekanisme bagaimana informasi diproses dalam kegiatan belajar, mulai dari perhatian, pengolahan dalam memori kerja, hingga penyimpanan dalam memori jangka panjang dan pemanfaatannya kembali dalam pemecahan masalah.

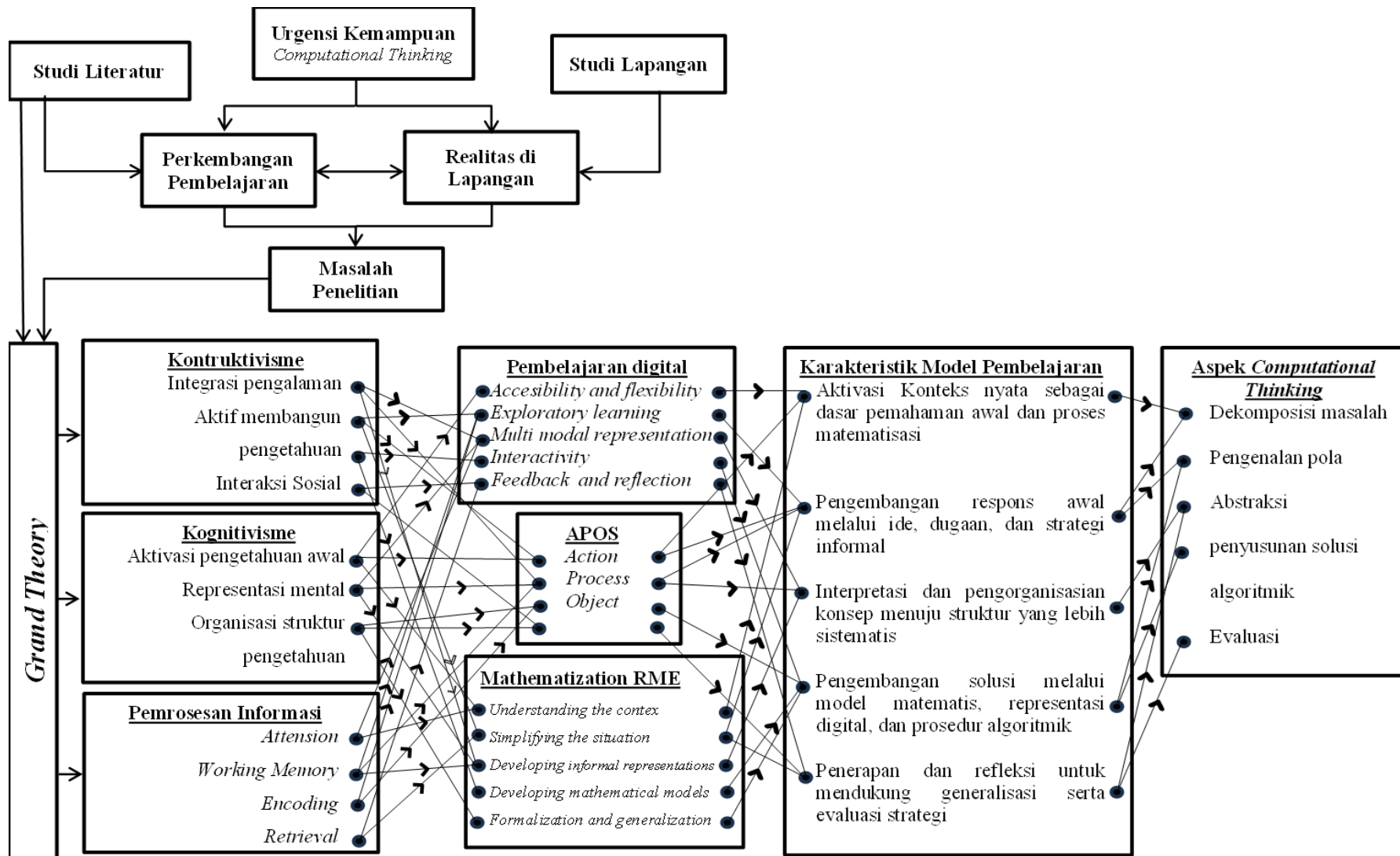
Landasan teoritis tersebut menjadi dasar dalam merancang implementasi pembelajaran melalui integrasi teori APOS (*Action–Process–Object–Schema*) dan konsep matematisasi dalam pendekatan Realistic Mathematics Education. Teori

APOS memberikan kerangka untuk memahami bagaimana pemahaman konsep matematika berkembang secara bertahap melalui transformasi aksi menjadi proses mental, kemudian dipahami sebagai objek, dan akhirnya terintegrasi dalam suatu skema pengetahuan. Sementara itu, konsep matematisasi menekankan bahwa pembelajaran matematika diawali dari konteks yang bermakna, kemudian secara bertahap ditransformasikan menjadi representasi matematis yang lebih formal.

Proses ini dapat dipahami melalui dua tahapan utama, yaitu matematisasi horizontal dan matematisasi vertikal. Matematisasi horizontal terjadi ketika mahasiswa mulai memahami konteks, menyederhanakan situasi, dan mengembangkan representasi informal sebagai model awal. Selanjutnya, matematisasi vertikal berlangsung ketika representasi tersebut dikembangkan menjadi model matematis, diformalkan, dan digeneralisasi ke dalam struktur konsep yang lebih abstrak. Alur ini menunjukkan bahwa pembelajaran tidak dimulai dari simbol atau rumus, melainkan dari proses memahami konteks hingga membangun struktur matematis secara bertahap.

Melalui integrasi APOS dan konsep matematisasi tersebut, pembelajaran dirancang agar mahasiswa dapat mengembangkan kemampuan berpikir yang menjadi inti dari *Computational Thinking*. Proses pembelajaran memungkinkan mahasiswa mengurai permasalahan kompleks ke dalam bagian-bagian yang lebih sederhana (dekomposisi masalah), mengenali keteraturan atau hubungan antar konsep (pengenalan pola), memfokuskan perhatian pada informasi yang relevan (abstraksi), merancang langkah penyelesaian secara sistematis (penyusunan solusi algoritmik), serta menilai ketepatan dan efektivitas solusi yang diperoleh (evaluasi).

Berdasarkan kerangka pemikiran tersebut, penelitian ini mengembangkan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi yang dirancang untuk memfasilitasi proses konstruksi pengetahuan mahasiswa secara lebih terstruktur dalam lingkungan pembelajaran digital. Model pembelajaran ini diharapkan dapat mendukung pengembangan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa dalam pembelajaran matematika di perguruan tinggi. Alur pemikiran yang melandasi pengembangan model pembelajaran tersebut disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kerangka Pikir Penelitian

E. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka berpikir yang mengintegrasikan prinsip pembelajaran digital dengan pendekatan APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME), dikembangkan suatu model pembelajaran digital yang dirancang untuk memfasilitasi proses belajar mahasiswa secara lebih sistematis. Model tersebut diharapkan mampu mengarahkan mahasiswa untuk mengaktivasi pengetahuan awal melalui konteks pembelajaran, mengeksplorasi ide dalam memecahkan masalah, menstrukturkan pemahaman konsep, mengembangkan solusi secara logis, serta merefleksikan proses berpikir yang dilakukan. Melalui proses pembelajaran tersebut, mahasiswa diharapkan dapat mengembangkan kemampuan *Computational Thinking* yang meliputi kemampuan mendekomposisi masalah, mengenali pola, melakukan abstraksi, menyusun langkah penyelesaian secara algoritmik, serta mengevaluasi solusi yang dihasilkan. Sejalan dengan tujuan penelitian pengembangan, kualitas model pembelajaran yang dikembangkan ditinjau dari tiga kriteria utama, yaitu kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan. Kevalidan menunjukkan kesesuaian model dengan landasan teoretis serta konsistensi antar komponen model. Kepraktisan menunjukkan kemudahan model untuk diterapkan dalam proses pembelajaran. Sementara itu, keefektifan menunjukkan kemampuan model dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa. Berdasarkan landasan teoretis, kerangka berpikir, dan tujuan penelitian yang telah diuraikan, maka hipotesis penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* memenuhi kriteria valid.
2. Model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* memenuhi kriteria praktis dalam implementasi pembelajaran.
3. Model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* efektif dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pembelajaran yang memiliki landasan teoretis yang kuat, mudah diterapkan, dan efektif dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain *exploratory sequential*, yaitu desain penelitian yang diawali dengan pengumpulan dan analisis data kualitatif yang kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan dan analisis data kuantitatif (Creswell & Plano Clark, 2018). Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti memahami kebutuhan dan permasalahan pembelajaran secara mendalam melalui analisis kualitatif, sekaligus menguji efektivitas model pembelajaran yang dikembangkan melalui analisis kuantitatif. Dengan demikian, integrasi kedua pendekatan tersebut memungkinkan penelitian menghasilkan temuan yang tidak hanya menunjukkan keberhasilan model secara statistik, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai proses pembelajaran yang terjadi (Creswell, 2014; Johnson & Onwuegbuzie, 2004).

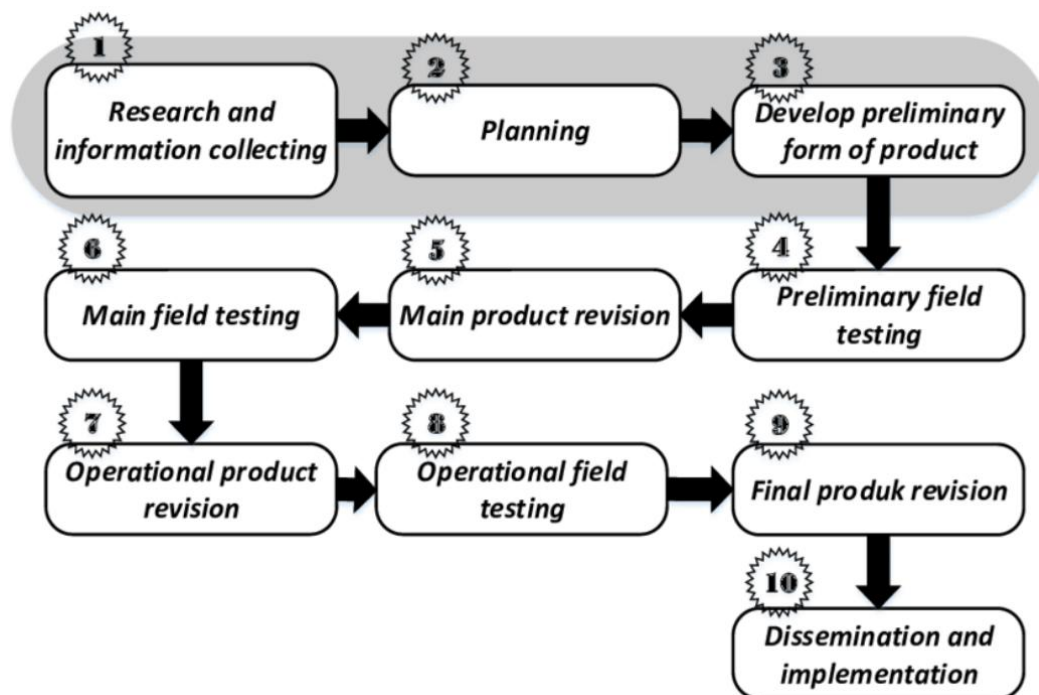
Pada tahap awal, penelitian dilakukan melalui studi pendahuluan dengan pendekatan kualitatif untuk mengidentifikasi kondisi pembelajaran yang berlangsung, menganalisis kebutuhan pembelajaran, serta menelaah berbagai literatur yang relevan dengan teori APOS, pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME), dan pembelajaran digital. Hasil analisis pada tahap ini digunakan sebagai dasar dalam merancang model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan RME yang dikembangkan dalam penelitian ini. Tahap berikutnya adalah tahap pengembangan model pembelajaran yang meliputi perancangan sintaks model, penyusunan perangkat pembelajaran, serta penyusunan instrumen penelitian. Rancangan awal model yang telah dikembangkan kemudian divalidasi melalui validasi ahli (*expert validation*) untuk menilai kelayakan model dari aspek teoritis, isi materi, dan implementasi pembelajaran. Hasil validasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi terhadap model pembelajaran sebelum dilakukan uji coba terbatas di kelas.

Model yang telah direvisi berdasarkan masukan dari validator selanjutnya diujicobakan secara terbatas untuk mengetahui keterlaksanaan model pembelajaran yang dikembangkan serta mengidentifikasi kendala yang muncul selama proses implementasi. Hasil uji coba terbatas digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan dan penyempurnaan model pembelajaran sebelum diterapkan pada tahap berikutnya. Selanjutnya dilakukan uji coba skala luas untuk menguji efektivitas model pembelajaran menggunakan pendekatan kuantitatif melalui desain eksperimen. Pada tahap ini dilakukan perbandingan antara kelas yang menggunakan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME) dengan kelas yang menggunakan pembelajaran yang biasa diterapkan. Data hasil belajar mahasiswa dianalisis menggunakan uji statistik untuk mengetahui perbedaan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* antara kedua kelompok.

B. Desain Penelitian

Peningkatan *Computational Thinking* mahasiswa dalam penelitian ini dilakukan melalui pengembangan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME). Untuk mewujudkan tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan desain penelitian dan pengembangan (*Research and Development/R&D*) yang mengacu pada kerangka yang dikemukakan oleh (Borg & Gall, 2003). Desain ini dipilih karena memberikan alur kerja yang sistematis dan berkelanjutan dalam menghasilkan produk pembelajaran yang tidak hanya dirancang secara konseptual, tetapi juga diuji dan disempurnakan melalui tahapan implementasi yang berulang.

Borg and Gall (2003) mengemukakan sepuluh tahapan utama dalam penelitian pengembangan, yang meliputi: (1) research and information collecting, (2) planning, (3) develop preliminary form of product, (4) preliminary field testing, (5) main product revision, (6) main field testing, (7) operational product revision, (8) operational field testing, (9) final product revision, dan (10) dissemination and implementation. Rangkaian tahapan tersebut menjadi acuan dalam merancang, menguji, dan menyempurnakan model pembelajaran yang dikembangkan. Secara visual, alur pengembangan model pembelajaran dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Penelitian dan Pengembangan (Borg & Gall, 2003)

Tahapan pengembangan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME dalam penelitian ini mengikuti sepuluh tahap penelitian dan pengembangan sebagaimana dikemukakan oleh Borg and Gall (2003) di atas diadaptasi sesuai dengan konteks pembelajaran digital berbasis *Learning Management System* (LMS). Penjelasan masing-masing tahap adalah sebagai berikut.

1) *Research and Information Collecting*

Tahap ini bertujuan memperoleh gambaran awal mengenai kondisi pembelajaran digital yang telah berjalan. Kegiatan meliputi studi literatur terkait APOS, RME, *Computational Thinking*, dan pembelajaran digital, serta pengumpulan data lapangan mengenai pemanfaatan LMS, karakteristik mahasiswa, dan kendala pembelajaran yang dihadapi. Hasil tahap ini menjadi dasar dalam merumuskan kebutuhan dan arah pengembangan model pembelajaran.

2) *Planning*

Tahap *planning* difokuskan pada perumusan kerangka model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME yang bersifat terukur dan aplikatif. Perencanaan mencakup penetapan tujuan pembelajaran, perancangan aktivitas belajar dalam LMS yang mendorong keterlibatan aktif mahasiswa, serta penyusunan strategi scaffolding untuk mendukung proses belajar bertahap. Selain itu, dirancang pula sistem umpan balik yang berkelanjutan untuk mendukung kemampuan self-regulation mahasiswa selama proses pembelajaran.

3) *Develop Preliminary Form of Product*

Tahap ini merupakan proses perancangan dan penyusunan prototipe awal model pembelajaran. Kegiatan mencakup penetapan struktur sintaks model, pengaturan peran dosen dan mahasiswa, serta desain pemanfaatan LMS sebagai lingkungan belajar utama. Prototipe awal dilengkapi dengan perangkat pembelajaran berupa modul digital, Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), dan panduan dosen yang dirancang berdasarkan prinsip konstruktivisme serta integrasi APOS dan RME.

4) *Preliminary Field Testing*

Tahap *preliminary field testing* dilakukan melalui uji coba terbatas pada sekelompok kecil mahasiswa. Tujuan tahap ini adalah menilai keterlaksanaan model, kejelasan instruksi pembelajaran, dan kesesuaian aktivitas belajar dalam LMS. Pada tahap ini juga dilakukan validasi ahli untuk menilai kualitas isi, keterbacaan, serta kelayakan desain pembelajaran digital yang dikembangkan.

5) *Main Product Revision*

Tahap *main product revision* dilakukan berdasarkan hasil uji coba terbatas dan masukan dari para ahli. Revisi difokuskan pada penyempurnaan instruksi pembelajaran, penyesuaian tingkat kesulitan tugas, serta perbaikan alur aktivitas pembelajaran dalam LMS. Hasil tahap ini berupa prototipe kedua yang lebih matang dan lebih sesuai dengan kebutuhan mahasiswa dan dosen.

6) *Main Field Testing*

Tahap *main field testing* dilaksanakan melalui uji coba lapangan pada kelas dengan jumlah mahasiswa yang lebih besar. Model diterapkan dalam situasi pembelajaran nyata untuk menilai efektivitasnya dalam meningkatkan *Computational Thinking* mahasiswa. Data yang diperoleh pada tahap ini digunakan untuk melihat konsistensi kinerja model dalam konteks pembelajaran yang lebih kompleks.

7) *Operational Product Revision*

Tahap ini dilakukan dengan merevisi produk berdasarkan hasil uji coba lapangan. Revisi berfokus pada penyempurnaan aspek teknis dan pedagogis, termasuk desain aktivitas dalam LMS, mekanisme umpan balik, serta instrumen asesmen. Tujuan tahap ini adalah memastikan model semakin valid, praktis, dan efektif ketika diterapkan dalam kondisi nyata.

8) *Operational Field Testing*

Tahap *operational field testing* bertujuan menguji konsistensi efektivitas model dalam kondisi pembelajaran yang lebih luas dan beragam. Model diterapkan pada konteks implementasi yang berbeda untuk memastikan stabilitas hasil dan keterlaksanaan model. Tahap ini penting untuk menjamin validitas eksternal dari model pembelajaran yang dikembangkan.

9) *Final Product Revision*

Hasil dari uji coba operasional menjadi dasar pelaksanaan final product revision. Pada tahap ini dilakukan penyempurnaan akhir terhadap seluruh komponen model pembelajaran, baik dari sisi sintaks, perangkat pembelajaran, maupun panduan implementasi. Model yang dihasilkan pada tahap ini merupakan versi final yang siap digunakan secara luas.

10) *Dissemination and Implementation*

Tahap terakhir adalah *dissemination and implementation*, yang diarahkan pada penyebarluasan dan penerapan model pembelajaran ke berbagai konteks pendidikan. Diseminasi dilakukan melalui publikasi ilmiah, pelatihan dosen, seminar, dan kegiatan akademik lainnya. Melalui tahap ini, model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME diharapkan dapat diadopsi secara lebih luas dan memberikan kontribusi nyata terhadap

peningkatan kualitas pembelajaran. Aspek kunci yang harus diperhatikan dalam pengembangan model pembelajaran adalah validitas, efektivitas, dan kepraktisan (Merrill, 2002). Validitas mengukur sejauh mana model pembelajaran valid dalam mencapai tujuan yang ditetapkan, termasuk relevansi materi, desain instruksional, dan aktivitas belajar terhadap tujuan pembelajaran. Efektivitas merujuk kepada sejauh mana model pembelajaran berhasil mencapai tujuan pembelajaran yang diinginkan, menilai sejauh mana mahasiswa memahami dan menguasai materi, serta menerapkan pengetahuan dan keterampilan yang dimahasiswainya dalam situasi nyata. Sementara itu, kepraktisan berkaitan dengan kemudahan implementasi model pembelajaran dalam konteks nyata, termasuk pertimbangan atas ketersediaan sumber daya, kemampuan dosen dalam mengimplementasikan model, dan penerimaan mahasiswa terhadap model pembelajaran.

C. Waktu, Tempat dan Subyek Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 1 tahun 6 bulan, yaitu mulai Agustus 2024 sampai dengan Januari 2026. Pelaksanaan penelitian dibagi ke dalam beberapa tahap yang saling berkesinambungan sesuai dengan desain penelitian dan pengembangan yang digunakan. Tahap studi pendahuluan dilaksanakan pada Agustus 2024 hingga Desember 2024, yang mencakup kegiatan studi literatur dan analisis kondisi awal pembelajaran digital berbasis LMS serta kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa. Pada tahap ini dilakukan penelaahan teori-teori yang relevan, pengkajian penelitian terdahulu, serta pengumpulan data awal untuk memetakan kebutuhan dan permasalahan pembelajaran. Tahap pengembangan dan perancangan model dilaksanakan pada Januari 2025 sampai dengan Juni 2025. Pada tahap ini dilakukan penyusunan kerangka model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME, pengembangan prototipe awal, serta penyusunan perangkat pembelajaran yang meliputi modul digital, Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), instrumen tes *Computational Thinking*, dan panduan implementasi model dalam LMS. Tahap validasi model dan uji coba instrumen dilaksanakan pada Juli 2025 hingga Oktober 2025. Kegiatan pada tahap ini meliputi validasi oleh para ahli terhadap model dan perangkat pembelajaran, uji

coba terbatas untuk menilai keterlaksanaan model, serta pengujian kualitas instrumen penelitian. Hasil dari tahap ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi dan penyempurnaan model. Tahap uji coba lapangan, pengujian akhir, dan implementasi model dilaksanakan pada November 2025 sampai dengan Januari 2026. Pada tahap ini model diterapkan dalam pembelajaran Aljabar Linear pada semester berjalan untuk menilai efektivitasnya dalam meningkatkan *Computational Thinking* mahasiswa. Data hasil implementasi selanjutnya dianalisis sebagai dasar penyempurnaan akhir model serta penarikan kesimpulan penelitian.

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Institut Bakti Nusantara (IBN), khususnya pada Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika. Pemilihan lokasi penelitian di IBN didasarkan pada kesesuaian konteks institusi dengan tujuan penelitian, yaitu pengembangan dan penerapan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME dalam pembelajaran matematika di pendidikan tinggi. IBN memiliki karakteristik pembelajaran yang relevan dengan fokus penelitian, terutama dalam pemanfaatan *Learning Management System* (LMS) sebagai sarana utama pembelajaran digital. Mahasiswa Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika memiliki latar belakang yang beragam dalam hal kemampuan akademik dan literasi digital, sehingga menjadi konteks yang tepat untuk menguji keterlaksanaan dan efektivitas model pembelajaran yang dikembangkan. Selain itu, mata kuliah Aljabar Linear, khususnya pada materi vektor, menuntut pemahaman konseptual yang kuat serta kemampuan berpikir terstruktur, sehingga sesuai untuk pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Pemilihan IBN sebagai lokasi penelitian juga mempertimbangkan kesiapan institusi dalam mendukung pelaksanaan penelitian pengembangan, baik dari sisi infrastruktur teknologi, dukungan dosen pengampu mata kuliah, maupun fleksibilitas pengelolaan pembelajaran berbasis LMS. Kondisi ini memungkinkan penerapan model pembelajaran secara konsisten serta pengumpulan data yang komprehensif, mencakup aspek hasil belajar, proses pembelajaran, dan respons mahasiswa.

3. Subyek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah mahasiswa semester I Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika di Institut Bakti Nusantara (IBN) yang menempuh mata kuliah Aljabar Linear, khususnya pada materi vektor. Pemilihan subjek didasarkan pada kesesuaian karakteristik mahasiswa dengan tujuan penelitian, yaitu pengembangan dan pengujian model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* (RME) untuk meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa.

Sampel penelitian terdiri atas empat kelas yang dibagi ke dalam dua kelas eksperimen dan dua kelas kontrol. Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran menggunakan model pembelajaran yang dikembangkan, sedangkan kelas kontrol mengikuti pembelajaran digital yang selama ini diterapkan dalam perkuliahan. Penggunaan dua kelas eksperimen dan dua kelas kontrol bertujuan untuk meningkatkan validitas implementasi model pembelajaran sekaligus meminimalkan bias yang dapat dipengaruhi oleh faktor dosen dan karakteristik program studi. Kelas eksperimen 1 dan kontrol 1 berasal dari Program Studi Sistem Informasi yang diampu oleh dosen pertama, sedangkan kelas eksperimen 2 dan kontrol 2 berasal dari Program Studi Manajemen Informatika yang diampu oleh dosen kedua. Dengan demikian, implementasi model pembelajaran dilakukan pada dua konteks pembelajaran yang berbeda sehingga hasil penelitian tidak hanya dipengaruhi oleh gaya mengajar satu dosen tertentu, tetapi juga memberikan gambaran yang lebih luas mengenai konsistensi penerapan model pada karakteristik mahasiswa yang berbeda.

Penentuan sampel penelitian menggunakan teknik non-probabilitas dengan metode *purposive sampling*. Teknik ini dipilih karena penelitian melibatkan kelas dengan karakteristik tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian, yaitu mahasiswa semester awal yang mengikuti mata kuliah Aljabar Linear, menggunakan pembelajaran berbasis *Learning Management System* (LMS), serta memiliki latar belakang kemampuan yang relatif sebanding. Dengan pertimbangan tersebut, pemilihan sampel diharapkan dapat memberikan data yang representatif untuk menilai efektivitas dan keterlaksanaan model pembelajaran yang dikembangkan.

Distribusi sampel penelitian pada masing-masing kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Kelas Penelitian

Kelas	Kelompok	Jumlah Mahasiswa
VEO A	Eksperimen 1	20
VEO C	Eksperimen 2	21
VEO B	Kontrol 1	20
VEO D	Kontrol 2	19

D. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini merupakan adaptasi dari sepuluh langkah pengembangan Borg and Gall (2003) yang disederhanakan ke dalam empat tahap utama, yaitu studi pendahuluan, pengembangan produk, pengujian, dan diseminasi. Tahap studi pendahuluan mengacu pada langkah *research and information collecting*. Tahap pengembangan produk mencakup langkah *planning* dan *develop preliminary form of product*, yang dilanjutkan dengan validasi ahli sebagai bagian dari evaluasi awal produk. Tahap pengujian meliputi *preliminary field testing* (uji coba terbatas), *main field testing* (uji coba lapangan), serta *operational field testing*, yang disertai dengan tahapan revisi secara bertahap, yaitu *main product revision*, *operational product revision*, dan *final product revision*. Sementara itu, tahap diseminasi merupakan implementasi dari langkah *dissemination and implementation*.

1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai *Computational Thinking* mahasiswa, faktor-faktor yang memengaruhinya, serta kondisi pembelajaran digital yang telah berjalan berbasis *Learning Management System* (LMS). Tahap ini menjadi langkah awal yang penting untuk memastikan bahwa model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan Realistic Mathematics Education (RME) yang dikembangkan berangkat dari kebutuhan nyata dan permasalahan pembelajaran yang relevan.

Penelitian diawali dengan studi literatur yang mengkaji konsep dasar *Computational Thinking* dalam konteks pendidikan tinggi dan pembelajaran matematika. *Computational Thinking* dipandang sebagai keterampilan esensial

abad ke-21 karena berkaitan dengan kemampuan mahasiswa dalam memecah masalah secara sistematis, mengenali pola, melakukan abstraksi, serta merancang langkah-langkah penyelesaian masalah secara logis dan terstruktur (Wing, 2006)(Wing, 2006). Dalam penelitian ini, *Computational Thinking* dipahami sebagai kemampuan berpikir yang terintegrasi dalam proses pemecahan masalah matematika, khususnya pada materi vektor dalam mata kuliah Aljabar Linear.

Studi literatur juga diarahkan untuk menelaah faktor-faktor yang memengaruhi berkembangnya *Computational Thinking* mahasiswa, termasuk rancangan pembelajaran, karakter lingkungan belajar digital, dukungan dosen melalui bantuan belajar bertahap dan umpan balik, serta pemanfaatan teknologi pembelajaran secara pedagogis (Tang et al., 2020; C.-Y. Wang et al., 2024). Kajian ini digunakan untuk menelaah teori, pendekatan, dan strategi pembelajaran yang relevan sebagai dasar perancangan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME. Selain itu, studi literatur juga dimanfaatkan untuk mengidentifikasi keunggulan dan keterbatasan berbagai pendekatan pembelajaran yang telah digunakan dalam mendukung pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi mahasiswa.

Selain studi literatur, penelitian ini juga melibatkan studi lapangan sebagai bagian dari tahap pendahuluan. Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh gambaran empiris mengenai kondisi awal *Computational Thinking* mahasiswa sebelum penerapan model pembelajaran yang dikembangkan. Pengumpulan data dilakukan melalui tes awal (*pretest*), observasi pembelajaran digital berbasis LMS, serta penggalian informasi terkait pengalaman belajar mahasiswa dan dosen dalam memanfaatkan LMS selama perkuliahan. Studi lapangan juga difokuskan pada identifikasi tantangan pembelajaran digital yang dihadapi, seperti keterbatasan pemanfaatan LMS dalam mendukung proses berpikir mahasiswa secara mendalam, variasi keterlibatan mahasiswa dalam aktivitas belajar, serta pola umpan balik yang belum sepenuhnya mendukung pengembangan kemampuan berpikir terstruktur. Berdasarkan temuan studi literatur dan studi lapangan tersebut, model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME dirancang untuk menjawab permasalahan yang ada dan meningkatkan efektivitas pembelajaran dalam membentuk *Computational Thinking* mahasiswa.

2. Tahap Pengembangan Produk

a. Penyusunan Draf Produk

Berdasarkan hasil kajian literatur dan temuan dari studi pendahuluan di lapangan, peneliti melakukan identifikasi kebutuhan terhadap produk pembelajaran yang akan dikembangkan agar selaras dengan permasalahan dan kebutuhan pembelajaran yang nyata. Tahap ini diawali dengan perancangan draf awal model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME), yang disusun dengan merujuk pada teori-teori belajar yang relevan sebagai landasan konseptual pengembangan model. Perancangan ini dimaksudkan agar model yang dikembangkan tidak hanya memiliki dasar teoretis yang kuat, tetapi juga mampu menjawab kebutuhan pembelajaran matematika di pendidikan tinggi secara efektif.

Model pembelajaran yang dirancang diarahkan untuk mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa melalui pembelajaran yang terstruktur, kontekstual, dan terintegrasi dalam lingkungan *Learning Management System* (LMS). Oleh karena itu, penyusunan draf produk tidak hanya berfokus pada sintaks model, tetapi juga pada bagaimana aktivitas pembelajaran, peran dosen dan mahasiswa, serta mekanisme interaksi dan umpan balik dirancang secara sistematis dalam LMS.

Pada tahap ini, peneliti juga menyusun perangkat pembelajaran yang mendukung implementasi model, meliputi Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM). Perangkat pembelajaran tersebut dirancang untuk memastikan keterlaksanaan model di kelas, sekaligus memberikan panduan yang jelas bagi dosen dan mahasiswa dalam menjalankan setiap tahapan pembelajaran berbasis integrasi APOS dan RME. Selain perangkat pembelajaran, peneliti menyusun instrumen penelitian dan instrumen evaluasi yang digunakan untuk menilai kualitas model yang dikembangkan. Instrumen evaluasi tersebut dirancang untuk mengukur tiga aspek utama, yaitu validitas, kepraktisan, dan keefektifan model pembelajaran. Validitas model diuji melalui penilaian para ahli untuk memastikan kesesuaian model dengan teori pembelajaran, karakteristik materi, serta konteks pembelajaran di perguruan tinggi. Kepraktisan model dinilai melalui uji coba pembelajaran untuk melihat kemudahan implementasi model bagi

dosen dan mahasiswa dalam lingkungan LMS. Sementara itu, keefektifan model dianalisis berdasarkan hasil belajar mahasiswa, khususnya melalui perbandingan hasil pretest dan posttest *Computational Thinking* setelah penerapan model pembelajaran.

b. Validasi Produk

Seluruh produk yang dikembangkan pada tahap pengembangan selanjutnya melalui proses validasi oleh para ahli untuk memastikan kualitas, kelayakan, dan kesiapan produk sebelum diujicobakan dalam pembelajaran. Proses validasi ini bertujuan untuk menilai kesesuaian pengembangan Model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME dengan landasan teoretis yang digunakan, tujuan pembelajaran yang ditetapkan, serta konteks implementasi di pendidikan tinggi. Validasi dilakukan sebagai langkah penting untuk menjamin bahwa model dan perangkat pembelajaran yang dikembangkan memiliki dasar konseptual yang kuat, struktur pedagogis yang koheren, serta dukungan media pembelajaran yang layak dan mudah digunakan.

Validasi produk difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu validitas isi, validitas konstruk, dan validitas media, dengan pembagian fokus penilaian yang disesuaikan dengan kompetensi masing-masing validator. Validitas isi dan validitas konstruk diarahkan untuk menilai kesesuaian materi, kejelasan tujuan pembelajaran, ketepatan dan koherensi sintaks Model ARICT, serta keterpaduan komponen model pembelajaran dengan prinsip integrasi APOS dan Realistic Mathematics Education (RME). Aspek ini mencakup keselarasan antara tujuan, aktivitas pembelajaran, dan pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Sementara itu, validitas media difokuskan pada aspek tampilan, keterpakaian, navigasi, dan kejelasan penyajian pembelajaran digital dalam *Learning Management System* (LMS), termasuk integrasi media pendukung seperti GeoGebra dalam mendukung proses pembelajaran. Produk yang divalidasi dalam penelitian ini meliputi: (1) Model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME (Model ARICT), (2) Rencana Pembelajaran Semester (RPS), (3) Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), (4) instrumen tes *Computational Thinking*, dan (5) desain media pembelajaran digital berbasis LMS.

Proses validasi melibatkan lima orang validator yang terdiri atas tiga validator materi dan dua validator media. Validator materi bertugas menilai aspek validitas isi dan validitas konstruk pada model pembelajaran, RPS, LKM, serta instrumen tes *Computational Thinking*, dengan fokus pada ketepatan konsep, kejelasan tujuan, keterpaduan sintaks pembelajaran, dan kesesuaian aktivitas pembelajaran dengan karakteristik mahasiswa. Sementara itu, validator media bertugas menilai aspek validitas media yang mencakup tampilan visual, keterpakaian, navigasi, serta kemudahan akses dan penggunaan media pembelajaran digital berbasis LMS oleh dosen dan mahasiswa. Daftar kelima validator yang terlibat dalam proses validasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar Validator

No	Nama Validator	Instansi
1	Prof. Dr. Bambang Sri Anggoro, M.Pd.	UIN Raden Intan Lampung
2	Dr. Ir. Nurul Hidayat, M. Kom.	Universitas Jenderal Soedirman
3	Dr. Caswita, M.Si.	Universitas Lampung
4	Dr. Nurhanurawati, M.Pd.	Universitas Lampung
5	Dr. Agus Irawan, M. Si	Institut Teknologi Sumatera

3. Tahap Pengujian

a. Uji Coba Terbatas

Uji coba terbatas bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan awal model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME sebelum diterapkan dalam skala yang lebih luas. Secara khusus, uji coba ini diarahkan untuk menilai kepraktisan model, menguji validitas dan keterpakaian instrumen tes *Computational Thinking*, mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan model, serta memperoleh respons awal dari pengguna, baik dosen maupun mahasiswa. Selain itu, uji coba terbatas juga berfungsi untuk mengumpulkan data awal mengenai potensi efektivitas model pembelajaran yang dikembangkan (McKenney & Reeves, 2019; Plomp & Nieveen, 2013; Tessmer, 2013)

Uji coba terbatas dilaksanakan di Institut Bakti Nusantara (IBN) dengan melibatkan 18 mahasiswa dan 2 dosen. Mahasiswa yang terlibat berasal dari dua kelas, masing-masing kelas didampingi oleh satu dosen dan terdiri atas 9 mahasiswa. Pemilihan mahasiswa pada tahap ini mempertimbangkan tingkat

kemampuan *Computational Thinking*, sehingga pada setiap kelas terdapat 3 mahasiswa dengan kemampuan CT rendah, 3 mahasiswa dengan kemampuan CT sedang, dan 3 mahasiswa dengan kemampuan CT tinggi. Komposisi ini dimaksudkan agar uji coba dapat menggambarkan keterlaksanaan model pada mahasiswa dengan kemampuan yang beragam.

Uji coba terbatas menggunakan pendekatan pengumpulan data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif diperoleh melalui lembar observasi keterlaksanaan model, angket respons mahasiswa, serta angket respons dosen terhadap pelaksanaan pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan RME dalam LMS. Data kuantitatif diperoleh melalui instrumen tes *Computational Thinking* yang diberikan dalam bentuk pretest dan posttest untuk melihat perubahan kemampuan mahasiswa setelah mengikuti pembelajaran. Data hasil uji coba terbatas dianalisis menggunakan analisis deskriptif kualitatif untuk menilai kepraktisan model dan mengidentifikasi kendala implementasi, serta analisis kuantitatif deskriptif dengan membandingkan hasil pretest dan posttest *Computational Thinking* mahasiswa. Temuan dari uji coba terbatas ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi dan penyempurnaan model, sehingga model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME menjadi lebih siap dan optimal untuk diterapkan pada tahap uji coba lapangan.

b. Uji Coba Lapangan

Uji coba lapangan dalam penelitian ini menggunakan desain quasi-experimental dengan bentuk nonequivalent control group design. Desain ini dipilih karena memungkinkan peneliti membandingkan efektivitas model pembelajaran yang dikembangkan dengan pembelajaran yang sudah berjalan, tanpa melakukan pengacakan subjek secara individual. Desain quasi-eksperimental banyak digunakan dalam penelitian pendidikan tinggi ketika pengelompokan kelas telah terbentuk secara administratif dan tidak memungkinkan dilakukan randomisasi penuh (Creswell, 2012; Shadish et al., 2002).

Pada tahap awal, kelompok eksperimen dan kelompok kontrol diberikan pretest untuk mengukur kemampuan awal *Computational Thinking* mahasiswa. Selanjutnya, kelompok eksperimen memperoleh perlakuan berupa penerapan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics*

Education (RME) yang diimplementasikan melalui *Learning Management System* (LMS). Sementara itu, kelompok kontrol mengikuti pembelajaran digital yang berjalan sebagaimana biasanya tanpa penerapan model yang dikembangkan. Setelah seluruh rangkaian pembelajaran selesai, kedua kelompok diberikan posttest untuk mengukur perubahan dan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa setelah perlakuan diberikan.

Rancangan quasi-eksperimental dengan nonequivalent control group design yang digunakan dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut.

Tabel 4. Skema Rancangan Uji Coba Lapangan

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O ₁	C	O ₂
Kontrol	O ₁	–	O ₂

Keterangan:

O₁ = Pretest *Computational Thinking*

O₂ = Posttest *Computational Thinking*

C = Penerapan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME

– = Pembelajaran digital yang berjalan sebagaimana biasanya

Uji coba lapangan dilaksanakan di Institut Bakti Nusantara (IBN) dengan melibatkan empat kelas mahasiswa Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika semester I, yang terdiri atas dua kelas eksperimen (Kelas A dan Kelas C) serta dua kelas kontrol (Kelas B dan Kelas D). Pemilihan kelas eksperimen dan kelas kontrol dilakukan secara non-randomized, dengan pertimbangan kesetaraan karakteristik mahasiswa, mata kuliah, dan dosen pengampu. Dalam desain ini, pemberian pretest dan posttest pada kedua kelompok bertujuan untuk mengontrol perbedaan kemampuan awal serta menilai pengaruh penerapan model pembelajaran yang dikembangkan secara lebih akurat.

Data hasil pretest dan posttest *Computational Thinking* dianalisis untuk menilai keefektifan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME dalam meningkatkan kemampuan berpikir komputasional mahasiswa. Perbandingan hasil antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol memberikan dasar empiris untuk menilai sejauh mana model yang dikembangkan memberikan kontribusi terhadap peningkatan *Computational Thinking* mahasiswa dalam pembelajaran Aljabar Linear.

Untuk keperluan analisis deskriptif, tingkat *Computational Thinking* mahasiswa diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu tinggi, sedang, dan rendah, berdasarkan rentang skor yang diperoleh dari instrumen tes. Klasifikasi ini digunakan untuk memberikan gambaran sebaran kemampuan mahasiswa sebelum dan sesudah penerapan model pembelajaran, serta untuk mendukung interpretasi hasil penelitian secara lebih komprehensif

Tabel 5. Klasifikasi Tingkat *Computational Thinking* Mahasiswa

Kategori	Rentang Nilai
Tinggi	81 – 100
Sedang	51 – 80
Rendah	0 – 50

4. Diseminasi Produk

Model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME) yang dihasilkan pada tahap akhir merupakan model yang telah melalui serangkaian proses pengembangan, validasi, uji coba, dan revisi secara sistematis. Rangkaian proses tersebut memastikan bahwa model yang dikembangkan tidak hanya berhenti pada tataran konseptual, tetapi benar-benar layak diterapkan dalam praktik pembelajaran di pendidikan tinggi. Model akhir memenuhi tiga kriteria utama dalam penelitian pengembangan, yaitu validitas, kepraktisan, dan efektivitas.

Validitas model dicapai melalui proses penilaian oleh para ahli yang menilai kesesuaian isi, keterpaduan konstruk, serta kejelasan penyajian model dan perangkat pembelajaran. Kepraktisan model dibuktikan melalui hasil uji coba, baik pada tahap uji coba terbatas maupun uji coba lapangan, yang menunjukkan bahwa model dapat diterapkan dengan relatif mudah oleh dosen serta dapat dipahami dan diikuti dengan baik oleh mahasiswa dalam lingkungan pembelajaran digital berbasis *Learning Management System* (LMS). Sementara itu, efektivitas model ditunjukkan melalui peningkatan *Computational Thinking* mahasiswa, yang diukur menggunakan instrumen tes yang telah melalui proses validasi dan pengujian empiris. Proses uji coba dan revisi dilakukan secara berulang pada berbagai tahap pengembangan, mulai dari uji coba awal, uji coba lapangan, hingga uji coba operasional. Setiap temuan dari tahap uji coba dianalisis untuk mengidentifikasi

kelemahan dan kendala implementasi, yang selanjutnya dijadikan dasar untuk melakukan perbaikan dan penyempurnaan model. Melalui proses ini, model yang dihasilkan menjadi lebih adaptif, responsif terhadap kebutuhan pembelajaran, serta selaras dengan karakteristik mahasiswa dan konteks pembelajaran digital di perguruan tinggi.

Tahap akhir dari pengembangan model adalah diseminasi produk, yang bertujuan untuk memperluas pemanfaatan hasil penelitian. Diseminasi dilakukan melalui dua jalur utama. Pertama, melalui publikasi ilmiah pada jurnal nasional dan internasional sebagai bentuk pertanggungjawaban akademik sekaligus kontribusi terhadap pengembangan keilmuan di bidang pendidikan dan pembelajaran matematika. Kedua, melalui forum ilmiah internasional untuk memperoleh umpan balik akademik sekaligus memperluas jejaring kolaborasi penelitian terkait pembelajaran digital dan *Computational Thinking* di perguruan tinggi. Dengan demikian, model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME yang dihasilkan tidak hanya menjadi keluaran penelitian semata, tetapi juga merupakan produk inovatif yang siap diadopsi dan dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung peningkatan kualitas pembelajaran dan pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa di pendidikan tinggi.

E. Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian

1. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini disusun berdasarkan fokus penelitian yang mengacu pada rumusan masalah, yaitu: (1) karakteristik model pembelajaran, (2) kevalidan model, (3) kepraktisan model, dan (4) keefektifan model pembelajaran. Oleh karena itu, teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi studi literatur, angket, tes, dan observasi yang disesuaikan dengan masing-masing tujuan penelitian.

a. Data Karakteristik Model Pembelajaran

Pengumpulan data pada tahap ini dilakukan melalui studi literatur dan studi lapangan. Studi literatur bertujuan untuk memperoleh landasan teoretis mengenai *Computational Thinking*, pembelajaran digital di pendidikan tinggi, serta penerapan pendekatan APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME) dalam

pembelajaran matematika. Kajian ini dilakukan dengan menelaah artikel ilmiah, buku rujukan, dan publikasi akademik yang relevan dengan topik penelitian.

Selain studi literatur, dilakukan pula studi lapangan untuk memperoleh gambaran empiris mengenai kondisi pembelajaran digital yang telah berjalan di Institut Bakti Nusantara (IBN). Studi lapangan diarahkan untuk mengetahui persepsi dosen dan mahasiswa terhadap pelaksanaan pembelajaran berbasis *Learning Management System* (LMS), kendala yang dihadapi dalam pembelajaran Aljabar Linear, serta kebutuhan terhadap model pembelajaran yang dapat mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Pengumpulan data dilakukan menggunakan angket daring yang disebarakan kepada dosen pengampu dan mahasiswa Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika semester I.

Pada tahap ini juga dilakukan tes awal *Computational Thinking* untuk memperoleh gambaran kemampuan awal mahasiswa sebelum penerapan model pembelajaran yang dikembangkan. Data hasil tes awal digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam merancang model pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik mahasiswa dan kebutuhan pembelajaran. Seluruh kegiatan analisis kebutuhan dilaksanakan pada tahap awal penelitian, yaitu pada rentang waktu Agustus 2024 hingga Desember 2024.

b. Data Kevalidan Model Pembelajaran

Data kevalidan model pembelajaran diperoleh melalui angket validasi ahli pada tahap uji coba awal. Proses validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa model pembelajaran yang dikembangkan memiliki kesesuaian dengan landasan teori serta layak untuk diterapkan dalam praktik pembelajaran. Validasi dilakukan oleh lima orang validator yang memiliki keahlian di bidang pendidikan matematika, pengembangan model pembelajaran, serta pembelajaran berbasis teknologi. Para validator memberikan penilaian terhadap kelayakan model pembelajaran, perangkat pembelajaran (RPS dan LKM), serta instrumen penelitian yang digunakan. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert untuk mengetahui tingkat kesesuaian komponen model dengan prinsip-prinsip pembelajaran yang mendasarinya. Hasil penilaian validator digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi dan penyempurnaan model sebelum tahap uji coba berikutnya.

c. Data Kepraktisan Model Pembelajaran

Data kepraktisan model pembelajaran diperoleh melalui observasi pelaksanaan pembelajaran serta angket respons dosen dan mahasiswa pada tahap uji coba lapangan. Observasi dilakukan untuk menilai keterlaksanaan tahapan pembelajaran yang dikembangkan serta kemudahan model dalam diterapkan pada proses pembelajaran. Selain lembar observasi, pengamat juga menggunakan catatan lapangan (*field notes*) untuk merekam berbagai kejadian selama proses pembelajaran berlangsung, seperti keterlibatan mahasiswa dalam aktivitas pembelajaran, respons mahasiswa terhadap kegiatan belajar, serta kendala yang muncul selama penerapan model. Catatan lapangan ini digunakan sebagai data kualitatif yang melengkapi hasil observasi. Data respons dosen dan mahasiswa dikumpulkan menggunakan angket dengan skala Likert untuk mengetahui persepsi mereka terhadap kemudahan penerapan model pembelajaran dalam lingkungan pembelajaran digital berbasis LMS.

d. Data Keefektifan Model Pembelajaran

Data keefektifan model pembelajaran diperoleh melalui tes kemampuan *Computational Thinking* yang diberikan sebelum dan sesudah pembelajaran. Tes ini terdiri dari pretest dan posttest yang bertujuan untuk mengetahui peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa setelah mengikuti pembelajaran. Selain data tes, data keefektifan juga diperoleh melalui observasi proses pembelajaran dan catatan lapangan yang digunakan untuk melihat keterlibatan mahasiswa dalam aktivitas pembelajaran serta bagaimana model pembelajaran mendukung proses berpikir mahasiswa. Data ini berfungsi sebagai data pendukung untuk memperkuat temuan hasil tes. Untuk melengkapi analisis keefektifan model, digunakan pula angket respons dosen dan mahasiswa untuk mengetahui pengalaman mereka selama mengikuti pembelajaran.

2. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disusun berdasarkan fokus penelitian yang mengacu pada rumusan masalah, yaitu: (1) karakteristik model pembelajaran, (2) kevalidan model, (3) kepraktisan model, dan (4) keefektifan model pembelajaran. Oleh karena itu, setiap instrumen dirancang untuk memperoleh data yang relevan dengan keempat aspek tersebut, meliputi

lembar validasi, lembar observasi, catatan lapangan, angket respons, dan instrumen tes *Computational Thinking*.

a. Instrumen untuk Mengkaji Karakteristik Model Pembelajaran

Instrumen yang digunakan untuk mengkaji karakteristik model pembelajaran dalam penelitian ini meliputi pedoman studi literatur, angket analisis kebutuhan, dan tes awal *Computational Thinking*. Ketiga instrumen tersebut digunakan secara terpadu untuk memperoleh data yang komprehensif mengenai kondisi awal pembelajaran, kebutuhan mahasiswa dan dosen, serta karakteristik pembelajaran digital yang telah berjalan sebagai dasar dalam pengembangan model pembelajaran.

Pedoman studi literatur digunakan untuk menelaah berbagai teori dan hasil penelitian yang relevan dengan *Computational Thinking*, pembelajaran digital di pendidikan tinggi, serta integrasi pendekatan APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME). Sumber yang digunakan dipilih berdasarkan kriteria relevansi dengan topik penelitian, kebaruan publikasi, serta kredibilitas sumber, seperti jurnal bereputasi dan buku akademik. Kajian ini berfungsi untuk membangun landasan konseptual yang kuat dalam merumuskan karakteristik model pembelajaran yang dikembangkan, sehingga model tidak hanya bersifat praktis tetapi juga memiliki validitas teoretis. Selanjutnya, angket analisis kebutuhan digunakan untuk mengidentifikasi kondisi empiris pembelajaran yang berlangsung di lapangan. Angket ini diarahkan untuk menggali persepsi dosen dan mahasiswa terkait pelaksanaan pembelajaran berbasis *Learning Management System* (LMS), kendala yang dihadapi dalam pembelajaran Aljabar Linear, serta kebutuhan terhadap model pembelajaran yang mampu mendukung pengembangan kemampuan berpikir komputasional. Melalui angket ini diperoleh informasi mengenai kesenjangan antara kondisi pembelajaran yang ada dengan kondisi pembelajaran yang diharapkan. Kisi-kisi angket analisis kebutuhan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kisi-kisi Angket Analisis Kebutuhan

No	Aspek	Indikator	Nomor Item
1	Kondisi pembelajaran digital	Penggunaan LMS dalam pembelajaran, frekuensi penggunaan, dan jenis aktivitas pembelajaran	1–4
2	Kendala pembelajaran	Hambatan dalam memahami materi, keterbatasan interaksi, dan kesulitan penggunaan LMS	5–8
3	Kebutuhan pembelajaran	Kebutuhan terhadap model pembelajaran yang interaktif, kontekstual, dan terstruktur	9–12
4	Pengembangan <i>Computational Thinking</i>	Dukungan pembelajaran terhadap kemampuan berpikir logis, pemecahan masalah, dan algoritmik	13–16

Selain itu, tes awal *Computational Thinking* diberikan untuk mengetahui kemampuan awal mahasiswa sebelum penerapan model pembelajaran. Tes ini dirancang berdasarkan aspek-aspek utama *Computational Thinking*, yaitu dekomposisi, abstraksi, pengenalan pola, penyusunan solusi algoritmik, dan evaluasi. Hasil tes awal ini digunakan sebagai dasar dalam merancang aktivitas pembelajaran yang sesuai dengan tingkat kemampuan mahasiswa, sehingga model yang dikembangkan bersifat adaptif dan kontekstual. Kisi-kisi tes awal *Computational Thinking* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kisi-kisi tes awal *Computational Thinking*

No	Aspek <i>Computational Thinking</i>	Indikator Kemampuan
1	Dekomposisi	Mengidentifikasi komponen masalah dan merepresentasikannya dalam bentuk matematis
2	Abstraksi	Menyederhanakan masalah ke dalam konsep matematis yang relevan
3	Pengenalan Pola	Mengidentifikasi hubungan atau keteraturan dalam permasalahan
4	Penyusunan Solusi Algoritmik	Menyusun langkah penyelesaian secara sistematis
5	Evaluasi	Menilai ketepatan solusi dan menginterpretasikan hasil

Secara keseluruhan, data yang diperoleh dari pedoman studi literatur, angket analisis kebutuhan, dan tes awal *Computational Thinking* digunakan sebagai dasar dalam merumuskan karakteristik model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME), yang

dirancang untuk meningkatkan kemampuan Computational Thinking mahasiswa.

b. Instrumen Kevalidan Model Pembelajaran

Instrumen kevalidan digunakan untuk menilai kelayakan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan Realistic Mathematics Education yang dikembangkan dalam penelitian ini. Validasi dilakukan oleh ahli pendidikan matematika dan ahli media pembelajaran menggunakan skala Likert lima tingkat. Aspek yang dinilai meliputi model pembelajaran, perangkat pembelajaran, instrumen penilaian, media pembelajaran, serta bahasa dan penyajian. Kisi-kisi instrumen validasi yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 8. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Model Pembelajaran

No	Aspek yang Dinilai	Indikator Penilaian	Nomor Item
1	Kelayakan Model Pembelajaran	Kejelasan sintaks model pembelajaran, kesesuaian dengan teori APOS dan RME, serta kontribusi model terhadap pengembangan kemampuan berpikir mahasiswa	1–10
2	Kesesuaian Perangkat Pembelajaran (RPS)	Kesesuaian capaian pembelajaran, keterpaduan tujuan–materi–metode–evaluasi, serta dukungan RPS terhadap implementasi model	11–15
3	Kualitas Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)	Kesesuaian aktivitas dengan sintaks model, penggunaan konteks nyata, kejelasan instruksi, dan dukungan terhadap aktivitas berpikir mahasiswa	16–20
4	Kualitas Instrumen Penilaian	Kesesuaian instrumen dengan tujuan pembelajaran, kemampuan mengukur computational thinking, serta kejelasan rubrik penilaian	21–25
5	Bahasa dan Penyajian Materi	Kejelasan bahasa, ketepatan istilah, konsistensi notasi matematis, serta keterbacaan penyajian materi	26–30

Tabel 9. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Model Pembelajaran

No	Aspek yang Dinilai	Indikator Penilaian	Nomor Item
1	Tampilan Visual	Kesesuaian desain visual LMS, tata letak, pemilihan warna dan huruf, serta keterbacaan tampilan	1–4
2	Keterpakaian (<i>Usability</i>)	Kemudahan penggunaan LMS, kenyamanan pengguna dalam mengoperasikan fitur pembelajaran, serta konsistensi tampilan	5–9
3	Navigasi dan Kemudahan Akses	Kemudahan berpindah antar menu, kejelasan struktur menu, kompatibilitas perangkat, serta kelancaran akses system	10–15
4	Penyajian Materi dan Interaktivitas Pembelajaran	Kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, integrasi APOS dan RME, dukungan multimedia, serta aktivitas interaktif yang mendukung proses belajar	16–25

c. Instrumen Kepraktisan Model Pembelajaran

Instrumen kepraktisan dalam penelitian ini terdiri atas lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, catatan lapangan, serta angket respons mahasiswa dan dosen. Instrumen-instrumen tersebut digunakan secara komplementer untuk menilai tingkat kemudahan implementasi model pembelajaran, keterlaksanaan sintaks pembelajaran, serta penerimaan pengguna terhadap model dalam konteks pembelajaran digital berbasis *Learning Management System* (LMS).

1. Lembar Observasi

Lembar observasi digunakan untuk mengamati keterlaksanaan model pembelajaran digital yang dikembangkan selama proses pembelajaran berlangsung. Observasi dilakukan oleh pengamat untuk menilai sejauh mana tahapan pembelajaran dilaksanakan sesuai dengan sintaks model serta bagaimana aktivitas dosen dan mahasiswa selama pembelajaran. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert lima tingkat, yaitu 1 (sangat tidak setuju) sampai dengan 5 (sangat setuju). Aspek yang diamati mencakup tahapan pembelajaran, pengelolaan waktu, serta suasana kelas dan pemanfaatan *Learning Management System* (LMS). Kisi-kisi lembar observasi keterlaksanaan model pembelajaran disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 10. Kisi- Kisi Lembar Observasi Pembelajaran

No	Aspek yang Diamati	Indikator Pengamatan	Nomor Item
1	<i>Activate Context</i>	Dosen memotivasi mahasiswa, mengaitkan materi dengan pengetahuan awal, menyampaikan tujuan pembelajaran, dan menyajikan masalah kontekstual sebagai awal pembelajaran	1–6
2	<i>Respond with Ideas</i>	Mahasiswa mengemukakan ide awal, berdiskusi, serta membandingkan berbagai strategi penyelesaian masalah	7–11
3	<i>Interpret and Structure</i>	Mahasiswa menafsirkan informasi, mengidentifikasi pola, serta menyusun pemahaman konsep secara sistematis melalui berbagai representasi	12–15
4	<i>Construct Solutions</i>	Mahasiswa mengembangkan solusi melalui pemodelan atau langkah algoritmik serta menjelaskan prosedur penyelesaian secara logis	16–19
5	<i>Transfer and Reflect</i>	Mahasiswa merefleksikan proses belajar dan menerapkan konsep pada permasalahan baru	20–23
6	Pengelolaan Waktu	Dosen mengelola waktu pembelajaran secara proporsional pada setiap tahapan pembelajaran	24–25
7	Suasana Kelas dan Pemanfaatan LMS	Mahasiswa aktif memanfaatkan LMS, berinteraksi secara kolaboratif, dan dosen responsif terhadap pertanyaan mahasiswa	26–28

2. Catatan lapangan

Selain menggunakan lembar observasi, penelitian ini juga menggunakan catatan lapangan untuk mendokumentasikan berbagai kejadian yang terjadi selama proses pembelajaran. Catatan lapangan digunakan untuk merekam situasi kelas, respons mahasiswa, dinamika diskusi, serta kendala yang muncul selama implementasi model pembelajaran berbasis LMS. Data yang diperoleh melalui catatan lapangan berfungsi sebagai data pendukung untuk melengkapi hasil observasi sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai proses pelaksanaan pembelajaran.

3. Angket respons Mahasiswa

Angket respon mahasiswa digunakan untuk memperoleh data mengenai kepraktisan model pembelajaran yang dikembangkan. Angket ini bertujuan untuk mengetahui persepsi mahasiswa terkait kemudahan penggunaan, kejelasan instruksi, keterlibatan dalam aktivitas pembelajaran, serta kenyamanan belajar selama mengikuti pembelajaran menggunakan model yang

dikembangkan. Instrumen angket terdiri atas 12 pernyataan yang disusun berdasarkan beberapa aspek kepraktisan dan menggunakan skala Likert lima tingkat. Kisi-kisi angket respon mahasiswa yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 11. Kisi-Kisi Angket Respon Mahasiswa

No	Aspek	Indikator	Nomor Pernyataan	Jumlah Item
1	Kejelasan instruksi dan alur pembelajaran	Instruksi, bahasa, dan tahapan pembelajaran mudah dipahami serta alur pembelajaran jelas	1, 2, 8	3
2	Kemudahan penggunaan media digital/LMS	Media digital membantu memahami materi serta memudahkan akses materi dan aktivitas pembelajaran	3, 5, 10	3
3	Keterlibatan dalam aktivitas pembelajaran	Pembelajaran mendorong diskusi, kolaborasi, dan pemecahan masalah	6, 9, 12	3
4	Motivasi dan kenyamanan belajar	Pembelajaran menarik, meningkatkan motivasi, rasa percaya diri, dan kenyamanan belajar	4, 7, 11	3

d. Instrumen Keefektifan Model Pembelajaran

1. Tes *Computational Thinking*

Instrumen tes dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa pada materi vektor dan aljabar linear. Penyusunan instrumen didasarkan pada lima aspek *Computational Thinking*, yaitu dekomposisi masalah, abstraksi, pengenalan pola, penyusunan solusi algoritmik, dan evaluasi. Instrumen terdiri atas lima soal uraian yang masing-masing memuat lima sub-soal yang merepresentasikan kelima aspek tersebut, sehingga seluruhnya berjumlah dua puluh lima butir tugas. Kisi-kisi instrumen tes *Computational Thinking* yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 12. Kisi-Kisi Instrumen Tes *Computational Thinking*

No	Aspek <i>Computational Thinking</i>	Indikator Kemampuan	Nomor Butir Soal
1	Dekomposisi Masalah	Mengidentifikasi komponen penting dari suatu permasalahan serta merepresentasikannya dalam bentuk model matematis atau vector	1a, 2a, 3a, 4a, 5a

No	Aspek <i>Computational Thinking</i>	Indikator Kemampuan	Nomor Butir Soal
2	Abstraksi	Menyederhanakan permasalahan ke dalam konsep matematis yang relevan seperti panjang vektor, dot product, dimensi ruang, dan nilai eigen	1b, 2b, 3b, 4b, 5b
3	Pengenalan Pola	Mengidentifikasi hubungan atau keteraturan antar konsep matematis seperti hubungan jarak, arah vektor, sudut antar vektor, dan pola transformasi	1c, 2c, 3c, 4c, 5c
4	Penyusunan Solusi Algoritmik	Menyusun langkah-langkah penyelesaian masalah secara logis dan sistematis	1d, 2d, 3d, 4d, 5d
5	Evaluasi	Menilai ketepatan solusi serta menginterpretasikan hasil perhitungan dalam konteks permasalahan	1e, 2e, 3e, 4e, 5e

Hubungan antara data penelitian, teknik pengumpulan data, dan instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Keterkaitan Data Penelitian dengan Instrumen Penelitian

No	Data Penelitian	Teknik Pengumpulan Data	Instrumen Penelitian
1	Analisis kebutuhan pembelajaran	Studi literatur, angket, tes awal	Pedoman studi literatur, angket kebutuhan, tes awal CT
2	Validitas model dan perangkat pembelajaran	Angket	Lembar validasi model dan perangkat
3	Kepraktisan model pembelajaran	Observasi, angket	Lembar observasi keterlaksanaan, angket respons dosen dan mahasiswa, catatan lapangan
4	Keefektifan model pembelajaran	Tes, observasi	Instrumen tes CT, lembar observasi, catatan lapangan

2. Lembar Observasi

Lembar observasi digunakan sebagai instrumen untuk mengamati keterlaksanaan proses pembelajaran serta keterlibatan mahasiswa dalam setiap tahapan sintaks model yang dikembangkan. Melalui observasi ini, peneliti dapat menilai sejauh mana aktivitas pembelajaran berlangsung sesuai dengan rancangan model, serta bagaimana mahasiswa berpartisipasi dalam proses pembelajaran, khususnya dalam aktivitas yang mendukung pengembangan *Computational Thinking*. Instrumen observasi yang digunakan dalam

pengukuran keefektifan model ini menggunakan kisi-kisi yang sama dengan instrumen observasi pada uji kepraktisan model pembelajaran. Penggunaan kisi-kisi yang sama dimaksudkan untuk menjaga konsistensi pengukuran terhadap pelaksanaan pembelajaran. Namun demikian, fokus analisis pada tahap keefektifan berbeda dengan tahap kepraktisan. Pada uji kepraktisan, observasi diarahkan untuk menilai keterlaksanaan dan kemudahan implementasi model, sedangkan pada uji keefektifan, observasi difokuskan untuk melihat bagaimana proses pembelajaran yang berlangsung mampu mendukung keterlibatan mahasiswa dan pengembangan kemampuan *Computational Thinking*.

3. Catatan Lapangan

Catatan lapangan digunakan untuk mendokumentasikan berbagai fenomena yang terjadi selama proses pembelajaran yang tidak sepenuhnya terakomodasi dalam lembar observasi. Catatan ini mencakup dinamika interaksi mahasiswa, respons terhadap aktivitas pembelajaran, strategi pemecahan masalah yang digunakan, serta kendala yang muncul selama implementasi model pembelajaran berbasis *Learning Management System* (LMS). Berbeda dengan lembar observasi, catatan lapangan tidak menggunakan kisi-kisi yang terstruktur secara kaku, namun tetap mengacu pada fokus pengamatan yang relevan dengan tujuan penelitian. Dalam konteks keefektifan model, catatan lapangan digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai proses berpikir mahasiswa, keterlibatan dalam aktivitas pembelajaran, serta bagaimana model pembelajaran memfasilitasi pengembangan kemampuan *Computational Thinking*. Data ini berfungsi sebagai data kualitatif pendukung yang melengkapi hasil observasi dan tes.

4. Angket Respon

Angket respons digunakan sebagai instrumen pendukung untuk memperoleh data mengenai persepsi mahasiswa dan dosen terhadap pelaksanaan pembelajaran menggunakan model yang dikembangkan. Instrumen ini mengukur aspek kejelasan instruksi pembelajaran, kemudahan penggunaan *Learning Management System* (LMS), keterlibatan dalam aktivitas pembelajaran, serta motivasi dan kenyamanan belajar.

Dalam penelitian ini, angket respons menggunakan kisi-kisi yang sama dengan angket pada uji kepraktisan model pembelajaran. Penggunaan kisi-kisi yang sama bertujuan untuk menjaga konsistensi pengukuran terhadap pengalaman pengguna selama pembelajaran. Namun demikian, fokus analisis pada tahap keefektifan berbeda dengan tahap kepraktisan. Pada uji kepraktisan, data angket digunakan untuk menilai kemudahan penggunaan dan keterlaksanaan model, sedangkan pada uji keefektifan, data yang sama dianalisis untuk melihat sejauh mana pengalaman belajar mahasiswa dan dosen mencerminkan keberhasilan model dalam mendukung pengembangan kemampuan *Computational Thinking*.

F. Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini disusun berdasarkan fokus penelitian yang meliputi karakteristik model pembelajaran, kevalidan model, kepraktisan model, dan keefektifan model pembelajaran. Setiap teknik analisis disesuaikan dengan jenis data yang diperoleh serta tujuan yang ingin dicapai pada masing-masing aspek penelitian.

1. Analisis Data Karakteristik Model Pembelajaran

Analisis data pada tahap ini dilakukan terhadap data hasil studi literatur dan studi lapangan. Data studi literatur dianalisis dengan cara menelaah dan mengelompokkan artikel ilmiah yang relevan dengan *Computational Thinking*, pembelajaran digital di pendidikan tinggi, serta pendekatan APOS dan *Realistic Mathematics Education (RME)*. Hasil kajian literatur dipetakan berdasarkan fokus dan variabel penelitian untuk membangun landasan teoretis dalam pengembangan model pembelajaran. Sementara itu, data studi lapangan diperoleh melalui tes awal *Computational Thinking* yang dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui tingkat kemampuan awal mahasiswa. Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar dalam merancang karakteristik model pembelajaran yang dikembangkan.

2. Analisis Data Kevalidan Model Pembelajaran

Analisis data kevalidan model pembelajaran dalam penelitian ini dilakukan untuk memastikan kelayakan model dan perangkat pembelajaran yang dikembangkan, serta kualitas instrumen yang digunakan dalam penelitian. Analisis ini mencakup penilaian terhadap validitas model dan

perangkat pembelajaran, serta pengujian validitas dan reliabilitas instrumen *Computational Thinking*.

a. Validitas model, perangkat pembelajaran dan lembar observasi

Analisis data pada tahap pengembangan difokuskan pada penilaian validitas model pembelajaran, perangkat pembelajaran, serta lembar observasi yang digunakan dalam penelitian. Penilaian validitas ini bertujuan untuk memastikan bahwa model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME yang dikembangkan memiliki kesesuaian isi, kejelasan struktur, serta keterpaduan antar komponen pembelajaran sesuai dengan konteks pembelajaran digital di pendidikan tinggi. Data validitas diperoleh melalui lembar validasi yang diisi oleh para validator. Lembar validasi tersebut memuat aspek-aspek penilaian yang mencakup kelayakan isi, konstruk, dan bahasa, baik pada model pembelajaran maupun pada perangkat pembelajaran dan instrumen pendukung. Setiap butir penilaian disusun untuk merepresentasikan karakteristik model dan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai.

Penilaian dilakukan menggunakan skala penilaian lima tingkat, yaitu: skor 5 (Sangat Baik), skor 4 (Baik), skor 3 (Cukup Baik), skor 2 (Kurang Baik), dan skor 1 (Sangat Kurang Baik). Skor yang diberikan oleh masing-masing validator kemudian direkap dan dianalisis dengan menghitung total skor yang diperoleh dibandingkan dengan skor maksimal yang mungkin dicapai. Nilai validitas selanjutnya dikonversi menjadi indeks validitas untuk menentukan tingkat kelayakan produk yang dikembangkan. Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar dalam menetapkan apakah model dan perangkat pembelajaran yang dikembangkan telah memenuhi kriteria valid atau masih memerlukan perbaikan sebelum dilanjutkan ke tahap uji coba berikutnya (Sugiyono, 2019)(Sugiyono, 2019).

$$\text{Validitas Indeks (VI)} = \frac{\text{Total Skor yang Diperoleh}}{\text{Total Skor Maksimal}}$$

Tabel 14. Kriteria validitas Model

Validitas Indeks	Kriteria
$VI \geq 0,80$	Valid
$0,70 < VI \leq 0,79$	Cukup Valid
$VI \leq 0,70$	Tidak Valid

Adaptasi (Sugiyono, 2019)

Apabila hasil penilaian menunjukkan bahwa aspek konstruk, isi, atau bahasa pada instrumen maupun perangkat pembelajaran masih memerlukan penyempurnaan, atau berada pada kategori kurang valid, maka proses validasi oleh ahli dapat dilakukan kembali setelah dilakukan perbaikan. Proses ini memungkinkan adanya penyesuaian berulang agar kualitas produk yang dikembangkan benar-benar memenuhi kriteria yang ditetapkan. Sebaliknya, apabila instrumen dan perangkat pembelajaran telah dinyatakan valid atau sangat valid berdasarkan penilaian ahli, maka validasi lanjutan tidak diperlukan dan produk tersebut dinyatakan layak serta siap digunakan pada tahap uji coba berikutnya.

b. Validitas dan Realibilitas Instrumen *Computational Thinking*

Sebelum pengumpulan data dilakukan, instrumen penelitian yang digunakan perlu dipastikan memiliki tingkat validitas dan reliabilitas yang memadai. Hal ini penting karena kualitas instrumen sangat menentukan ketepatan pengukuran serta kredibilitas hasil penelitian. Instrumen *Computational Thinking* dalam penelitian ini tidak hanya melalui uji kelayakan isi dan konstruk oleh ahli, tetapi juga diuji secara empiris melalui analisis validitas dan reliabilitas. Validitas dan reliabilitas merupakan dua komponen utama dalam kualitas pengukuran. Validitas berkaitan dengan ketepatan instrumen dalam mengukur kemampuan yang seharusnya diukur, sedangkan reliabilitas berkaitan dengan konsistensi hasil pengukuran apabila instrumen digunakan pada kondisi yang sebanding. Instrumen yang valid dan reliabel akan menghasilkan data yang dapat dipercaya serta memungkinkan penarikan kesimpulan yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

1) Uji Validitas Instrumen

Validitas instrumen merujuk pada sejauh mana butir-butir soal mampu mengukur *Computational Thinking* mahasiswa secara tepat. Uji validitas dilakukan dengan menganalisis hubungan antara skor setiap butir soal dengan skor total instrumen. Teknik yang digunakan adalah korelasi Product Moment Pearson, yang bertujuan untuk melihat kekuatan hubungan antara skor butir dan skor total (Arikunto, 2013). Rumus korelasi Product Moment Pearson adalah sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{N \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

Keterangan :

r_{xy} : koefisien korelasi antara x dan y

X : skor butir

Y : skor total

N : ukuran data

Nilai koefisien korelasi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai r tabel pada taraf signifikansi 0,05. Apabila nilai $r_{xy} > r_{tabel}$, maka butir soal dinyatakan valid. Untuk membantu interpretasi hasil uji validitas, digunakan klasifikasi koefisien korelasi sebagaimana disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Klasifikasi Koefisien Korelasi Uji Validitas

Nilai Koefisien Korelasi	Interpretasi
0,00 - 0,19	Korelasi Sangat lemah
0,20 - 0,39	Korelasi Lemah
0,40 - 0,59	Korelasi Sedang
0,60 - 0,79	Korelasi Kuat
0,80 - 1,00	Korelasi Sangat kuat

Adaptasi (Johnson & Onwuegbuzie, 2004)

Koefisien korelasi berada pada rentang -1 hingga $+1$, di mana nilai positif menunjukkan hubungan searah dan nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan. Dalam penelitian ini, suatu butir instrumen dinyatakan memenuhi kriteria validitas apabila memiliki koefisien korelasi minimal 0,40, yang menunjukkan hubungan sedang atau lebih kuat antara skor butir dan skor total (DeVellis, 2016).

2) Uji Reliabilitas Instrumen

Reliabilitas instrumen berkaitan dengan tingkat keajegan atau konsistensi hasil pengukuran. Instrumen dikatakan reliabel apabila memberikan hasil yang relatif sama ketika digunakan pada kelompok yang setara atau pada waktu yang berbeda, selama kondisi pengukuran tidak berubah secara signifikan.

Uji reliabilitas instrumen tes *Computational Thinking* dilakukan menggunakan koefisien Cronbach's Alpha, yang digunakan untuk mengetahui konsistensi internal antarbutir soal.

Rumus Cronbach's Alpha yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$r_{11} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_b^2}{\sigma_t^2} \right)$$

Keterangan:

r_{11} : Koefisien reliabilitas instrumen yang dicari

k : Banyaknya butir pertanyaan atau banyaknya soal

$\sum \sigma_b^2$: Jumlah variansi skor butir soal ke- i , $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

σ_t^2 : Variansi total

Nilai koefisien reliabilitas yang diperoleh diinterpretasikan berdasarkan kriteria Cronbach's Alpha menurut George and Mallery (2019). Klasifikasi tersebut digunakan untuk menentukan tingkat konsistensi internal instrumen sebagaimana disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Klasifikasi Reliabilitas

Nilai Koefisien Alpha	Interpretasi
0,00 - 0,60	Tidak dapat diandalkan
0,60 - 0,70	Rendah, namun dapat diterima
0,70 - 0,80	Dapat diterima
0,80 - 0,90	Baik
> 0,90	Sangat baik

Adaptasi (George & Mallery, 2019)

Secara umum, nilai Cronbach's Alpha $\geq 0,70$ dianggap menunjukkan reliabilitas yang memadai. Dalam penelitian ini, instrumen tes *Computational Thinking* dinyatakan reliabel apabila memiliki nilai Cronbach's Alpha minimal 0,70, sehingga layak digunakan untuk mengukur kemampuan mahasiswa secara konsisten (George & Mallery, 2000).

3. Analisis Data Kepraktisan Model Pembelajaran

Analisis data kepraktisan model pembelajaran dalam penelitian ini bertujuan untuk menilai kemudahan implementasi dan keterlaksanaan model dalam konteks pembelajaran nyata. Penilaian dilakukan melalui uji coba terbatas untuk memperoleh gambaran awal mengenai penerapan model, baik dari sisi pengguna maupun pelaksanaan sintaks pembelajaran. Analisis pada tahap ini mengacu pada konsep kepraktisan sebagaimana dikemukakan oleh (Nieveen, 2007), yang menyatakan bahwa suatu produk pembelajaran dikatakan praktis apabila dapat digunakan oleh pengguna sesuai dengan tujuan dan kondisi pembelajaran yang nyata. Oleh karena itu, hasil analisis difokuskan pada sejauh mana model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME dapat diterapkan secara operasional oleh dosen serta dapat diikuti secara efektif oleh mahasiswa.

Uji coba terbatas melibatkan 18 mahasiswa dan 2 dosen, dengan komposisi masing-masing dosen mendampingi 9 mahasiswa dalam pelaksanaan pembelajaran. Analisis pada tahap ini difokuskan pada keterlaksanaan tahapan model, kejelasan alur pembelajaran, serta kesesuaian pelaksanaan pembelajaran dengan rancangan model yang telah disusun. Keterlibatan dosen dan mahasiswa dalam jumlah terbatas memungkinkan peneliti memperoleh gambaran awal mengenai kemudahan penerapan model dan potensi kendala yang muncul dalam implementasi pembelajaran.

Proses ini melibatkan pengumpulan data melalui angket respon dosen dan mahasiswa serta observasi keterlaksanaan model oleh observer yang kemudian dianalisis dengan langkah-langkah berikut:

a. Pengumpulan Data

Pengumpulan data kepraktisan model dilakukan dengan mengumpulkan respons dari dosen dan mahasiswa yang terlibat dalam penerapan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME. Selain itu, data juga diperoleh melalui observasi keterlaksanaan model pembelajaran untuk memberikan gambaran mengenai pelaksanaan model secara langsung dalam proses pembelajaran. Respons dosen dan mahasiswa dikumpulkan menggunakan angket, yang diberikan setelah model pembelajaran diterapkan. Angket tersebut dirancang untuk menggali persepsi

pengguna terhadap kemudahan penggunaan model, kejelasan tahapan pembelajaran, serta keterlaksanaan pembelajaran berbasis LMS. Observasi keterlaksanaan model dilakukan untuk melengkapi data angket, sehingga diperoleh informasi yang lebih menyeluruh mengenai kepraktisan model dalam konteks pembelajaran nyata.

Setiap respons pada angket dinilai menggunakan skala Likert dengan rentang skor sebagai berikut: sangat setuju diberi skor 5, setuju diberi skor 4, cukup setuju diberi skor 3, tidak setuju diberi skor 2, dan sangat tidak setuju diberi skor 1 (Sugiyono, 2019).

b. Analisis Data

Data yang telah terkumpul selanjutnya dianalisis secara kuantitatif deskriptif. Tahap analisis diawali dengan menghitung total skor yang diperoleh dari seluruh butir angket untuk setiap responden. Skor tersebut kemudian digunakan untuk menghitung indeks kepraktisan model dengan membandingkan total skor yang diperoleh dengan total skor maksimal.

Indeks kepraktisan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Indeks Kepraktisan (K)} = \frac{\text{Total Skor yang di peroleh}}{\text{Total Skor Maksimal}}$$

Nilai indeks kepraktisan yang diperoleh kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria kepraktisan model pembelajaran. Kriteria ini digunakan untuk menilai tingkat keterlaksanaan dan kemudahan penerapan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME, dengan mengacu pada pendekatan yang umum digunakan dalam penelitian pengembangan (Nieveen, 2007; Sugiyono, 2019).

Tabel 17. Kriteria Kepraktisan Model

Presentase	Kriteria
$IK \geq 0,81$	Sangat Praktis/Sangat Baik
$0,71 \leq IK \leq 0,80$	Praktis/Baik
$0,61 \leq IK \leq 0,70$	Cukup Praktis/Cukup Baik
$IK \leq 0,60$	Tidak Praktis/Tidak Baik

Adaptasi (Nieveen, 2007; Sugiyono, 2019)

Hasil analisis indeks kepraktisan digunakan sebagai dasar untuk menilai tingkat kepraktisan model pembelajaran. Mengacu pada (Nieveen, 1999), aspek kepraktisan suatu produk pembelajaran dinyatakan terpenuhi

apabila produk tersebut dinilai layak untuk diterapkan oleh para ahli dan praktisi, serta dapat digunakan dengan mudah oleh pengguna sasaran dalam konteks pembelajaran nyata.

4. Analisis Data Keefektifan Model Pembelajaran

Setelah model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME melalui tahap uji coba terbatas dan disempurnakan berdasarkan temuan awal, tahap selanjutnya adalah uji coba lapangan. Uji coba lapangan ini bertujuan untuk menilai keefektifan model pembelajaran dalam meningkatkan *Computational Thinking* mahasiswa pada konteks pembelajaran yang lebih luas. Uji coba lapangan menggunakan desain *quasi-eksperimental* dengan bentuk *nonequivalent control group design*. Desain ini dipilih karena memungkinkan perbandingan antara kelompok yang memperoleh perlakuan berupa penerapan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME dengan kelompok yang mengikuti pembelajaran digital yang berjalan sebagaimana biasanya, tanpa melakukan pengacakan subjek secara individual (Creswell, 2012; Shadish et al., 2002). Dalam penelitian ini, uji coba lapangan dilaksanakan di Institut Bakti Nusantara (IBN) dengan melibatkan dua kelas eksperimen dan dua kelas kontrol pada Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika semester I. Kelompok eksperimen menerima pembelajaran menggunakan model yang dikembangkan, sedangkan kelompok kontrol mengikuti pembelajaran digital eksisting. Keefektifan model dianalisis berdasarkan perbandingan hasil pretest dan posttest *Computational Thinking* mahasiswa, yang digunakan untuk melihat perubahan kemampuan mahasiswa sebelum dan sesudah penerapan model pembelajaran. Data hasil pretest dan posttest selanjutnya dianalisis untuk menentukan sejauh mana model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME memberikan kontribusi terhadap peningkatan *Computational Thinking* mahasiswa dalam pembelajaran Aljabar Linear, khususnya pada materi vektor.

Pengujian keefektifan model dilakukan untuk mengetahui sejauh mana model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan RME mampu meningkatkan *Computational Thinking* mahasiswa. Analisis keefektifan ini

didasarkan pada perbandingan kemampuan mahasiswa sebelum dan sesudah penerapan model pembelajaran yang dikembangkan. Serangkaian uji untuk mengukur keefektifan di gunakan bantuan aplikasi SPSS. Uji efektifitas dapat dilakukan dengan beberapa langkah yaitu:

a. N-gain

N-gain digunakan untuk menggambarkan besarnya peningkatan hasil belajar yang dicapai mahasiswa setelah intervensi pembelajaran dibandingkan dengan peningkatan maksimum yang mungkin dicapai (Hake, 1998). Teknik ini banyak digunakan dalam penelitian pendidikan untuk menilai efektivitas suatu model pembelajaran berbasis pretest dan posttest. Perhitungan nilai N-gain dilakukan dengan menggunakan skor pretest dan posttest *Computational Thinking* mahasiswa, dengan rumus sebagai berikut:

$$N - gain = \frac{(Skor_{Posttest} - Skor_{Pretest})}{(Skor_{Maks} - Skor_{Pretest})}$$

Keterangan:

$Skor_{Pretest}$: skor yang diperoleh mahasiswa sebelum diberikan intervensi

$Skor_{Posttest}$: skor yang diperoleh mahasiswa sesudah diberikan intervensi

$Skor_{Maks}$: skor tertinggi yang dapat dicapai pada instrumen tes

Nilai N-gain yang diperoleh selanjutnya diinterpretasikan untuk menentukan tingkat peningkatan *Computational Thinking* mahasiswa. Klasifikasi tingkat peningkatan mengacu pada kriteria yang dikemukakan oleh (Hake, 1998), sebagaimana disajikan pada Tabel 18.

Tabel 18. Kriteria *N-gain*

<i>N-gain</i>	Kriteria
$N-gain > 0,7$	Peningkatan tinggi
$0,3 \leq N-gain \leq 0,7$	Peningkatan sedang
$N-gain < 0,3$	Peningkatan rendah

Adaptasi (Hake, 1998)

b. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data sampel termasuk dalam populasi yang berdistribusi normal atau tidak.

1) Hipotesis:

H₀: data gain berasal dari populasi yang berdistribusi normal

H₁: data gain berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal

2) Statistik Uji

Uji normalitas dilakukan dengan uji Chi Kuadrat (Mahmudah & Suryabrata, 2020) sebagai berikut:

$$\chi^2_{hitung} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Keterangan:

k: banyak pengamatan

O_i: frekuensi pengamatan

E_i: frekuensi yang diharapkan

3) Kriteria Pengujian

H₀ diterima jika $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$ dengan taraf signifikan α .

c. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah varians data antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol bersifat setara.

1) Hipotesis

H₀: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (kedua kelompok data *gain* memiliki varians yang sama)

H₁: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (kedua kelompok data *gain* memiliki varians yang berbeda)

2) Statistik Uji

Statistik uji yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan Uji-F.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Keterangan:

S₁²: varians terbesar

S₂²: varians terkecil

3) Kriteria Pengujian

H_0 diterima jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ dan tolak H_0 untuk hal lainnya.

Hasil uji homogenitas digunakan sebagai dasar dalam menentukan teknik analisis statistik selanjutnya. Apabila varians antar kelompok dinyatakan homogen, maka analisis perbedaan rata-rata dapat dilanjutkan menggunakan uji t , karena asumsi kesamaan varians telah terpenuhi. Sebaliknya, apabila varians tidak homogen, maka digunakan pendekatan analisis alternatif yang sesuai dengan kondisi data.

d. Uji Hipotesis

Dalam penelitian ini teknik analisis data yang digunakan untuk uji hipotesis adalah uji anova satu jalan dengan sel tak sama. Uji ini dipilih karena penelitian melibatkan perbandingan lebih dari dua kelompok. Anova yaitu teknik statistik yang menganalisis varians yang diambil akibat adanya perbedaan skor dari beberapa kelompok sampel (Rangkuti, 2017). Syarat uji anova adalah:

- 1) Populasi harus independen dan data yang diamati juga independen pada kelompoknya. Artinya setiap sampel tidak berhubungan dengan sampel yang lain.
- 2) Populasi yang diteliti harus berdistribusi normal.
- 3) Populasi harus memiliki standar deviasi/variansi yang sama.

Tujuan dari uji anova satu jalan sel tak sama adalah untuk melihat efek variabel bebas terhadap variabel terikat dengan membandingkan rerata populasi (Budiyono, 2009).

Model analisisnya adalah sebagai berikut:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$$

Keterangan:

X_{ij} = data ke-i pada perlakuan ke-j

μ = rata-rata umum

$\alpha_j = \mu_j - \mu$ = efek perlakuan ke-j pada variabel ke-1

$\varepsilon_{ij} = X_{ij} - \mu_j$ = deviasi data X_{ij} terhadap rata-rata populasinya berdistribusi normal dengan rerata 0.

e. Uji Komparasi Ganda

Uji komparasi ganda digunakan sebagai tindak lanjut dari analisis varians satu arah untuk mengetahui pasangan kelompok yang memiliki perbedaan rerata secara signifikan. Analisis varians hanya menunjukkan adanya perbedaan rerata secara keseluruhan antar kelompok, namun tidak menunjukkan kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan uji lanjutan (*post hoc test*) untuk membandingkan rerata antar kelompok secara berpasangan. Dalam penelitian ini, uji komparasi ganda dilakukan menggunakan metode Bonferroni untuk mengetahui pasangan kelas yang memiliki perbedaan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* setelah penerapan model pembelajaran yang dikembangkan. Metode Bonferroni merupakan teknik koreksi tingkat signifikansi yang digunakan untuk mengendalikan kemungkinan terjadinya kesalahan tipe I ketika melakukan beberapa perbandingan sekaligus. Prinsip dasar metode ini adalah dengan membagi tingkat signifikansi (α) dengan jumlah perbandingan yang dilakukan sehingga diperoleh tingkat signifikansi baru yang digunakan dalam pengujian (Field, 2018).

Secara matematis, tingkat signifikansi pada metode Bonferroni dinyatakan sebagai berikut:

$$\alpha' = \frac{\alpha}{k}$$

Keterangan:

α' = tingkat signifikansi setelah koreksi Bonferroni

α = tingkat signifikansi awal (misalnya 0,05)

k = jumlah perbandingan pasangan kelompok yang dilakukan

Dalam penelitian ini terdapat empat kelompok kelas yang dibandingkan, yaitu dua kelas eksperimen dan dua kelas kontrol. Jumlah perbandingan pasangan kelompok dihitung dengan rumus $k = \frac{n(n-1)}{2}$, sehingga diperoleh $k = \frac{4(4-1)}{2} = 6$ pasangan perbandingan. Selanjutnya, perbandingan rerata antar kelompok dilakukan secara berpasangan menggunakan nilai signifikansi yang telah dikoreksi tersebut. Apabila nilai signifikansi hasil perbandingan lebih kecil dari nilai α' , maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan rerata yang signifikan antara pasangan kelompok yang dibandingkan.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Bagian ini menyajikan hasil penelitian pengembangan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* (RME) dengan desain *Research and Development* (R&D) yang mengacu pada Borg dan Gall. Penyajian hasil penelitian disusun sesuai dengan fokus pengembangan model, yang meliputi karakteristik model pembelajaran, kevalidan model, kepraktisan model, dan keefektifan model dalam meningkatkan kemampuan Computational Thinking mahasiswa.

1. Karakteristik Model Pembelajaran

Bagian ini menguraikan karakteristik model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME yang dikembangkan. Pembahasan mencakup hasil studi pendahuluan, tahap perencanaan, serta penyusunan draf awal model sebagai landasan dalam merumuskan karakteristik konseptual dan operasional model pembelajaran.

a. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan merupakan tahap awal penelitian yang bertujuan untuk memperoleh gambaran awal mengenai kondisi pembelajaran, mengidentifikasi permasalahan utama, serta menentukan arah pengembangan model pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan mahasiswa. Tahap ini dilaksanakan melalui studi literatur dan studi lapangan untuk memperkuat landasan teoretis sekaligus memperoleh data empiris mengenai kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa dalam pembelajaran Aljabar Linear. Hasil kajian literatur dan temuan awal di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi dengan praktik pembelajaran digital yang telah berjalan, sehingga memperkuat urgensi pengembangan model pembelajaran dalam penelitian ini. Studi literatur dilakukan untuk menelaah teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar dalam merumuskan kerangka konseptual dan arah pengembangan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME). Sementara itu, studi lapangan dilaksanakan untuk memperoleh gambaran kondisi nyata pembelajaran digital

berbasis *Learning Management System* (LMS) serta profil awal kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa. Melalui kedua kegiatan tersebut, diharapkan diperoleh dasar yang kuat dalam merancang model pembelajaran yang mampu mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa secara sistematis dan kontekstual. Hasil studi pendahuluan ini menjadi dasar dalam merumuskan karakteristik awal model pembelajaran yang dikembangkan.

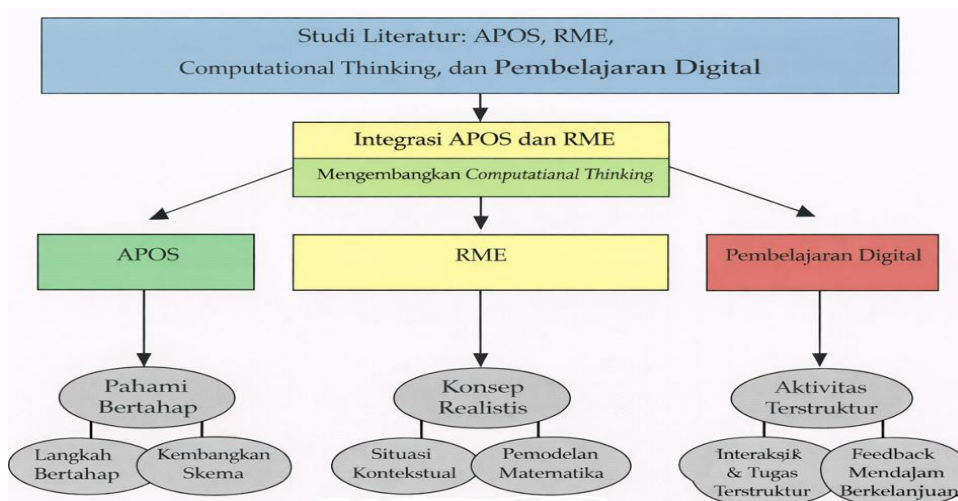
1) Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini dilakukan dengan menelaah berbagai hasil penelitian terdahulu yang dipublikasikan dalam jurnal ilmiah bereputasi, buku rujukan, serta publikasi akademik yang relevan. Kajian literatur difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu konsep *Computational Thinking* dalam pendidikan tinggi, pendekatan pembelajaran APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME) dalam pembelajaran matematika, serta karakteristik pembelajaran digital berbasis *Learning Management System* (LMS).

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa *Computational Thinking* merupakan kemampuan kognitif yang penting dalam pembelajaran matematika, khususnya dalam konteks pemecahan masalah yang menuntut pemahaman konseptual, abstraksi, dan penalaran logis. Pendekatan APOS menekankan perkembangan pemahaman konsep matematika melalui tahapan aksi, proses, objek, dan skema, yang sejalan dengan kebutuhan pengembangan cara berpikir mahasiswa secara bertahap dan terstruktur. Sementara itu, *Realistic Mathematics Education* (RME) menekankan pentingnya konteks nyata dan pengalaman bermakna sebagai titik awal pembelajaran, sehingga mahasiswa dapat mengaitkan konsep abstrak matematika dengan situasi yang dapat dipahami secara intuitif.

Kajian literatur juga menunjukkan bahwa pembelajaran digital berbasis LMS memiliki potensi besar dalam mendukung pengembangan *Computational Thinking* apabila dirancang secara pedagogis, bukan sekadar sebagai media distribusi materi. LMS memungkinkan integrasi aktivitas belajar yang terstruktur, interaksi dosen dan mahasiswa, serta pemberian umpan balik yang berkelanjutan. Namun, berbagai penelitian

mengungkapkan bahwa pembelajaran digital sering kali belum dimanfaatkan secara optimal untuk mendorong proses berpikir mahasiswa secara mendalam dan reflektif.



Gambar 5. Hasil Pemetaan Studi Literatur

Berdasarkan pemetaan hasil studi literatur sebagaimana disajikan pada Gambar 5, dapat disimpulkan bahwa integrasi pendekatan APOS dan RME dalam pembelajaran digital berbasis LMS merupakan strategi yang potensial untuk mengembangkan *Computational Thinking* mahasiswa. Pendekatan ini mendorong mahasiswa untuk membangun pemahaman konsep secara bertahap, mengaitkan konsep matematika dengan konteks yang bermakna, serta mengembangkan kemampuan analisis dan pemecahan masalah secara sistematis. Temuan ini memperkuat landasan konseptual karakteristik model yang dikembangkan, khususnya pada aspek konstruksi konsep secara bertahap dan proses matematisasi dalam pembelajaran.

2) Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan sebagai pelengkap sekaligus penguat hasil studi literatur untuk memperoleh gambaran empiris mengenai kondisi nyata pembelajaran matematika di perguruan tinggi, khususnya pembelajaran Aljabar Linear berbasis pembelajaran digital. Studi ini bertujuan mengidentifikasi kondisi awal kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa serta karakteristik pelaksanaan pembelajaran digital yang telah berlangsung sebelum pengembangan model pembelajaran dilakukan.

Pelaksanaan studi lapangan dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama dilaksanakan melalui penyebaran angket secara daring menggunakan Google Form. Angket ini ditujukan untuk menggali persepsi dosen dan mahasiswa terkait pelaksanaan pembelajaran digital berbasis *Learning Management System* (LMS), pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran matematika, serta pengalaman mahasiswa dalam mengembangkan kemampuan berpikir komputasional selama mengikuti perkuliahan. Instrumen angket berhasil menjaring respons dari dosen dan mahasiswa yang terlibat dalam pembelajaran Aljabar Linear pada berbagai kelas di Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika Institut Bakti Nusantara.

Tahap kedua studi lapangan dilakukan melalui pengukuran kemampuan awal *Computational Thinking* mahasiswa menggunakan instrumen tes *Computational Thinking*. Tes ini dirancang untuk memperoleh data empiris mengenai tingkat kemampuan mahasiswa dalam memecahkan masalah, melakukan abstraksi, mengenali pola, serta menyusun langkah-langkah penyelesaian masalah secara logis dan terstruktur dalam konteks materi vektor pada mata kuliah Aljabar Linear. Pengukuran ini dimaksudkan untuk memetakan kemampuan awal mahasiswa sebagai dasar dalam merancang model pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan nyata di lapangan.

Hasil pemetaan persepsi dosen dan mahasiswa terhadap pembelajaran digital yang telah berjalan disajikan secara ringkas pada Tabel 19 berikut.

Tabel 19. Persepsi Dosen dan Mahasiswa terhadap Pembelajaran Digital

Kategori	Persentase (%)
Dosen mencari sumber belajar tambahan secara daring	72,45
Pemanfaatan teknologi komunikasi dalam pembelajaran	48,30
Dosen memahami pembelajaran digital secara pedagogis	26,85
Dosen melihat peningkatan kemampuan berpikir mahasiswa	44,60
Mahasiswa aktif mencari sumber belajar tambahan	95,20
Mahasiswa merasakan manfaat teknologi dalam menyelesaikan tugas	96,75
Mahasiswa sering mengemukakan ide atau solusi alternatif	39,10
Mahasiswa mampu mengaitkan materi dengan konteks nyata	36,40
Materi pembelajaran dirasakan relevan dengan kebutuhan nyata	33,15

Berdasarkan data tersebut, sebagian besar dosen telah memanfaatkan sumber belajar daring untuk mendukung pembelajaran, namun pemahaman terhadap strategi pembelajaran digital yang dirancang secara pedagogis masih tergolong rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran digital cenderung belum dimanfaatkan secara optimal untuk mendorong proses berpikir mahasiswa secara mendalam. Dari sisi mahasiswa, terlihat bahwa mahasiswa telah memiliki kemandirian yang tinggi dalam mengakses sumber belajar dan memanfaatkan teknologi digital. Namun, kemampuan mahasiswa dalam mengemukakan ide, mengaitkan materi dengan konteks nyata, serta mengembangkan solusi alternatif masih berada pada tingkat yang belum optimal. Hasil pengukuran awal kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa disajikan pada Tabel 20 berikut.

Tabel 20. Hasil Pengukuran Awal *Computational Thinking* Mahasiswa

No	Kategori <i>Computational Thinking</i>	Persentase (%)
1	Tinggi	18,20
2	Sedang	15,35
3	Rendah	66,5

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa mayoritas mahasiswa masih berada pada kategori rendah dalam kemampuan *Computational Thinking*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam memecah masalah secara sistematis, melakukan abstraksi konsep, serta menyusun strategi penyelesaian masalah yang terstruktur dan kontekstual. Mahasiswa yang berada pada kategori tinggi menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mengembangkan strategi penyelesaian masalah dan menampilkan pola berpikir yang lebih reflektif dan terorganisasi. Temuan studi lapangan ini memperkuat kebutuhan akan pengembangan model pembelajaran yang tidak hanya memanfaatkan teknologi digital sebagai sarana penyampaian materi, tetapi juga dirancang secara pedagogis untuk mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Oleh karena itu, hasil studi lapangan menjadi dasar empiris yang penting dalam perancangan model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan *Realistic Mathematics Education* (RME) dalam penelitian ini. Hasil studi lapangan memberikan dasar empiris yang memperjelas kebutuhan

karakteristik model pembelajaran yang kontekstual, terstruktur, dan berorientasi pada pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa.

b. Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan kelanjutan dari studi pendahuluan yang telah mengungkap berbagai permasalahan pembelajaran, khususnya keterbatasan pembelajaran konvensional dalam mengembangkan *Computational Thinking* mahasiswa serta belum optimalnya pemanfaatan pembelajaran digital secara pedagogis. Berdasarkan temuan tersebut, tahap perencanaan diarahkan untuk menyusun kerangka model pembelajaran yang sistematis, terstruktur, dan kontekstual melalui integrasi teori APOS dan pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME) dalam lingkungan pembelajaran digital. Perencanaan ini bertujuan menghasilkan model pembelajaran yang tidak hanya memiliki landasan teoretis yang kuat, tetapi juga mudah diimplementasikan serta relevan dengan karakteristik mahasiswa dan tuntutan pembelajaran matematika di pendidikan tinggi.

Model pembelajaran pada dasarnya merupakan kerangka konseptual yang menggambarkan prosedur sistematis dalam mengorganisasikan pengalaman belajar untuk mencapai tujuan pembelajaran tertentu (Joyce et al., 2016). Pengembangan model pembelajaran umumnya berlandaskan pada teori belajar yang menjelaskan bagaimana proses belajar terjadi serta pendekatan pembelajaran yang memberikan strategi pedagogis untuk mengimplementasikan proses tersebut dalam praktik pembelajaran (Arends, 2012). Dengan demikian, model pembelajaran dapat dikembangkan melalui integrasi antara landasan teoretis dan pendekatan pedagogis yang relevan dengan konteks pembelajaran. Dalam penelitian ini, teori APOS berfungsi sebagai landasan teoretis yang menjelaskan proses terbentuknya pemahaman matematis melalui tahapan aksi (*action*), proses (*process*), objek (*object*), dan skema (*schema*). Kerangka ini memberikan dasar untuk merancang tahapan pembelajaran yang memungkinkan mahasiswa membangun pemahaman konsep matematika secara bertahap dan sistematis. Sementara itu, pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME) memberikan prinsip pedagogis yang menekankan penggunaan konteks nyata, proses matematisasi, serta

aktivitas eksploratif dalam pembelajaran matematika. Integrasi kedua kerangka tersebut kemudian diimplementasikan dalam lingkungan pembelajaran digital sehingga menghasilkan model pembelajaran yang tidak hanya memiliki landasan konseptual yang kuat, tetapi juga kontekstual dan operasional dalam praktik pembelajaran.

1) Rumusan Tujuan

Tujuan utama pengembangan model pembelajaran adalah meningkatkan *Computational Thinking* mahasiswa melalui pembelajaran matematika yang menekankan pemahaman konseptual, penalaran logis, serta kemampuan pemecahan masalah secara sistematis. Secara khusus, model dirancang untuk membantu mahasiswa membangun konsep matematika secara bertahap, mengaitkan konsep abstrak dengan konteks yang bermakna, serta menerapkan pengetahuan yang diperoleh dalam situasi baru melalui pembelajaran digital. Tahap perencanaan ini menghasilkan rumusan awal karakteristik model yang selanjutnya dioperasionalkan dalam bentuk sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, dan sistem pendukung model pembelajaran.

2) Struktur Model

Struktur model ini menjadi ciri utama dari model pembelajaran yang dikembangkan, yaitu mengintegrasikan tahapan konstruksi konsep APOS dengan proses matematisasi dalam pembelajaran digital. Integrasi ini menegaskan bahwa karakteristik utama model terletak pada keterpaduan antara proses pembentukan konsep secara kognitif dan proses matematisasi sebagai jembatan dari konteks menuju representasi formal matematika. Model ini dikemas dalam sintaks ARICT (*Activate–Respond–Interpret–Construct–Transfer*), yang merepresentasikan tahapan pembelajaran progresif dari aktivasi konteks hingga penerapan dan refleksi konsep. Secara operasional, sintaks model meliputi lima tahap utama sebagai berikut.

a) *Activate Context*

Pembelajaran diawali dengan penyajian konteks nyata yang relevan dengan materi matematika melalui media digital. Tahap ini bertujuan mengaktifkan pengetahuan awal mahasiswa, menumbuhkan keterlibatan kognitif, serta memunculkan rasa ingin tahu terhadap permasalahan yang akan dipelajari. Tahap ini selaras dengan prinsip reality dalam RME dan tahap action dalam teori APOS. Tahap ini merepresentasikan awal proses matematisasi horizontal, di mana mahasiswa mulai mengaitkan situasi kontekstual dengan ide-ide matematis awal.

b) *Respond with Ideas*

Mahasiswa didorong untuk memberikan respons awal terhadap permasalahan yang disajikan, seperti mengemukakan dugaan, strategi awal, atau prediksi solusi. Aktivitas ini dilakukan secara individual maupun kolaboratif melalui platform digital, sehingga mahasiswa mulai membangun proses berpikir dan mengenali pola-pola awal permasalahan. Tahap ini memperkuat proses eksplorasi ide sebagai bagian dari transisi menuju proses matematisasi yang lebih terstruktur.

c) *Interpret and Structure*

Pada tahap ini, mahasiswa mengorganisasi dan menafsirkan informasi yang diperoleh dari eksplorasi awal. Mahasiswa diarahkan untuk mengidentifikasi hubungan antaride, menyusun representasi visual, serta membangun pemahaman konseptual yang lebih terstruktur. Tahap ini mencerminkan transisi dari process ke *object* dalam APOS serta proses matematisasi vertikal dalam RME. Tahap ini menjadi inti dalam pembentukan struktur matematis, di mana proses matematisasi berkembang dari konteks menuju representasi formal yang lebih sistematis.

d) *Construct Solutions*

Mahasiswa mengembangkan solusi secara sistematis dengan memanfaatkan konsep dan struktur yang telah dibangun. Solusi

dapat diwujudkan dalam bentuk model matematis, representasi digital, atau langkah-langkah algoritmik. Tahap ini memperkuat pembentukan skema (*schema*) dalam APOS dan mendukung pengembangan aspek *algorithmic thinking* dalam *Computational Thinking*. Tahap ini menunjukkan hasil dari proses matematisasi yang telah dilakukan, yaitu kemampuan mahasiswa dalam membangun solusi matematis secara logis dan terstruktur.

e) *Transfer and Reflect*

Tahap akhir difokuskan pada penerapan konsep ke dalam konteks atau permasalahan baru serta refleksi terhadap proses pembelajaran yang telah dilalui. Mahasiswa mengevaluasi strategi yang digunakan, membandingkan berbagai solusi, dan merefleksikan pemahamannya. Tahap ini mendukung penguatan skema kognitif serta kemampuan metakognitif mahasiswa. Tahap ini memperkuat kemampuan generalisasi dan refleksi, yang merupakan bagian penting dalam memperluas hasil proses matematisasi ke berbagai konteks permasalahan.

3) Peran Dosen dan Mahasiswa (Sistem Sosial)

Pada model yang dikembangkan, dosen berperan sebagai fasilitator pembelajaran yang mengarahkan, membimbing, dan memberikan umpan balik secara berkelanjutan. Dosen tidak berfungsi sebagai sumber informasi utama, melainkan sebagai pengelola proses belajar yang membantu mahasiswa membangun pemahaman secara mandiri melalui aktivitas terstruktur dalam pembelajaran digital. Mahasiswa berperan aktif sebagai subjek pembelajaran yang mencari, mengolah, dan mengonstruksi pengetahuan. Melalui keterlibatan aktif dalam setiap tahapan model, mahasiswa dilatih untuk mengembangkan kemandirian belajar, kemampuan kolaborasi, serta regulasi diri dalam memecahkan masalah matematika. Sistem sosial dalam model ini menegaskan karakteristik pembelajaran yang berpusat pada mahasiswa (*student-centered learning*) yang mendukung proses konstruksi pengetahuan dan matematisasi secara aktif.

4) Prinsip Reaksi

Prinsip reaksi dalam model pembelajaran ini mengatur bagaimana dosen merespons aktivitas dan perkembangan belajar mahasiswa pada setiap tahapan sintaks. Pada tahap awal, dosen memberikan pertanyaan pemantik dan arahan singkat untuk membantu mahasiswa memahami konteks permasalahan. Selanjutnya, dosen memberikan bimbingan yang proporsional ketika mahasiswa mengalami kesulitan konseptual atau teknis, tanpa mengambil alih proses berpikir mahasiswa. Umpan balik yang diberikan bersifat formatif dan konstruktif, bertujuan memperkuat pemahaman, meluruskan miskonsepsi, serta mendorong mahasiswa untuk merefleksikan strategi yang digunakan. Reaksi dosen tidak hanya berfokus pada hasil akhir, tetapi juga pada proses berpikir yang ditempuh mahasiswa selama pembelajaran. Prinsip reaksi ini memperkuat karakteristik model dalam mendukung proses berpikir mahasiswa secara bertahap dan reflektif, khususnya dalam mengembangkan proses matematisasi dan *Computational Thinking*.

5) Sistem Pendukung

Sistem pendukung dalam model ARICT memanfaatkan *Learning Management System* (LMS) dan perangkat lunak GeoGebra sebagai sarana utama untuk menunjang keterlaksanaan pembelajaran. LMS digunakan untuk menyajikan materi pra-pembelajaran, mengelola aktivitas diskusi daring, mendistribusikan tugas, serta memfasilitasi refleksi dan umpan balik pembelajaran secara berkelanjutan. GeoGebra dipilih sebagai media eksplorasi dan visualisasi matematis karena kemampuannya membantu mahasiswa merepresentasikan konsep secara dinamis, mengidentifikasi pola, serta menata struktur konsep secara lebih sistematis. Pemanfaatan LMS dan GeoGebra dilakukan dengan mempertimbangkan aspek kemudahan akses, keterpakaian, dan keterpaduan dengan sintaks pembelajaran, sehingga mahasiswa memiliki ruang yang fleksibel untuk mengeksplorasi konsep, menguji ide, dan membangun pemahaman konseptual secara bermakna. Sistem

pendukung dalam model ini tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran, tetapi juga sebagai sarana yang memfasilitasi berlangsungnya proses matematisasi dan pengembangan *Computational Thinking* secara terstruktur dalam lingkungan digital.

c. Pengembangan Model Pembelajaran

Bagian ini memaparkan proses pengembangan model sebagai bentuk operasionalisasi karakteristik model yang telah dirumuskan pada tahap sebelumnya.

1) Penyusunan Draf Produk

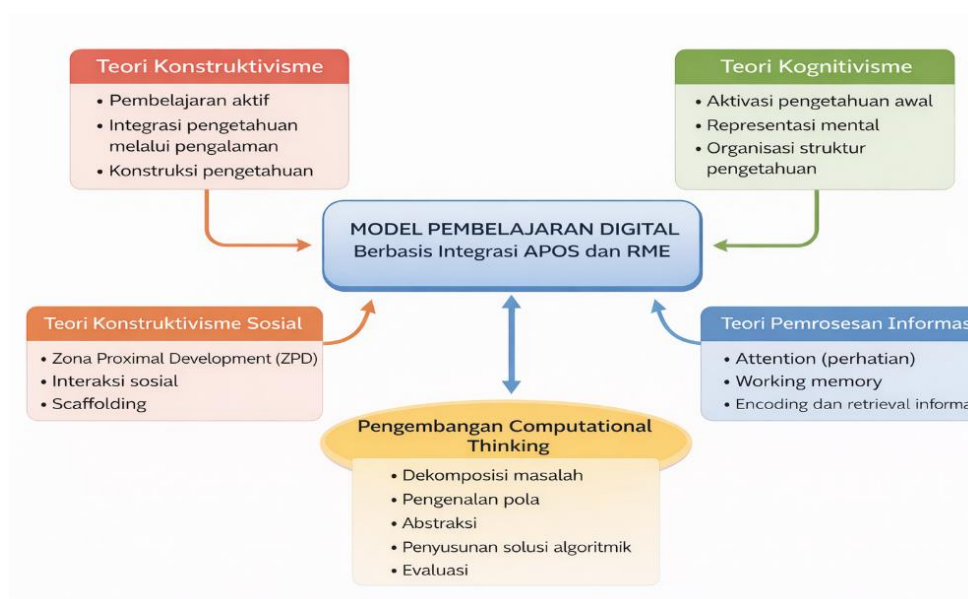
Penyusunan draf produk dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil studi literatur dan analisis kebutuhan pada tahap pendahuluan. Hasil kajian awal menunjukkan bahwa pembelajaran matematika di pendidikan tinggi, khususnya pada mata kuliah Aljabar Linear, masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain tingginya tingkat abstraksi materi, keterbatasan konteks pembelajaran, serta belum optimalnya pemanfaatan pembelajaran digital untuk mendukung proses berpikir mahasiswa secara mendalam. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya kemampuan mahasiswa dalam mengembangkan *Computational Thinking*, terutama dalam aspek dekomposisi masalah, abstraksi konsep, penalaran logis, dan perancangan solusi yang sistematis. Selain itu, pembelajaran digital yang telah diterapkan melalui *Learning Management System* (LMS) pada umumnya masih berorientasi pada distribusi materi dan pengumpulan tugas, belum sepenuhnya dirancang untuk mendorong proses berpikir mahasiswa secara reflektif dan terstruktur. Aktivitas pembelajaran sering kali belum memberikan ruang yang cukup bagi mahasiswa untuk membangun pemahaman konseptual secara bertahap, mengaitkan konsep matematika dengan konteks bermakna, serta mengembangkan strategi pemecahan masalah yang bersifat komputasional. Temuan ini mengindikasikan perlunya pengembangan model pembelajaran digital yang tidak hanya menekankan aspek teknologi, tetapi juga memiliki landasan pedagogis dan teoretis yang kuat.

Berdasarkan kondisi tersebut, langkah strategis dalam penelitian ini adalah menyusun draf awal model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* (RME). Model ini dirancang secara khusus untuk mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa melalui pembelajaran matematika yang terstruktur, kontekstual, dan terintegrasi dalam lingkungan LMS. Pengembangan draf produk tidak hanya berfokus pada penyusunan sintaks pembelajaran, tetapi juga pada perancangan peran dosen dan mahasiswa, alur aktivitas belajar, serta mekanisme interaksi dan umpan balik yang mendukung proses berpikir mahasiswa. Penyusunan draf produk diarahkan untuk menerjemahkan hasil kajian konseptual dan empiris ke dalam rancangan model yang operasional dan kontekstual.

Secara teoretis, penyusunan draf produk berlandaskan pada paradigma konstruktivisme yang memandang belajar sebagai proses aktif membangun pengetahuan melalui pengalaman dan interaksi. Paradigma ini diperkuat oleh konstruktivisme sosial, yang menekankan bahwa pembentukan pemahaman tidak hanya terjadi secara individual, tetapi juga melalui interaksi sosial, diskusi, dan kolaborasi dalam lingkungan belajar. Dalam konteks pembelajaran digital berbasis LMS, interaksi dosen dan mahasiswa serta interaksi antarmahasiswa menjadi elemen penting dalam memfasilitasi pertukaran ide, klarifikasi konsep, dan penguatan pemahaman. Selain itu, teori belajar bermakna menjadi landasan dalam penerapan pendekatan RME pada model yang dikembangkan. Teori ini menekankan pentingnya keterkaitan antara pengetahuan baru dengan struktur kognitif awal mahasiswa. Oleh karena itu, pembelajaran dirancang dengan memanfaatkan konteks nyata dan situasi yang dapat dipahami secara intuitif sebagai titik awal, sehingga konsep abstrak matematika, khususnya pada materi vektor, dapat dipelajari secara lebih bermakna. Pendekatan ini diharapkan mampu membantu mahasiswa mengaitkan konsep matematika dengan pengalaman dan permasalahan yang relevan, sehingga mendukung proses abstraksi dan pemodelan yang menjadi bagian penting dari *Computational Thinking*. Dalam konteks ini, konsep matematisasi RME berfungsi sebagai landasan

pedagogis yang mengarahkan mahasiswa dari situasi kontekstual menuju representasi matematis yang lebih formal dan terstruktur.

Pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa dalam model ini juga didukung oleh teori pemrosesan informasi, yang memandang berpikir sebagai rangkaian proses kognitif yang melibatkan penerimaan, pengolahan, penyimpanan, dan penggunaan informasi. Integrasi pendekatan APOS dalam model pembelajaran berfungsi sebagai representasi operasional dari proses kognitif tersebut, di mana mahasiswa membangun pemahaman matematis melalui tahapan aksi, proses, objek, dan skema. Tahapan ini memungkinkan mahasiswa mengembangkan struktur kognitif yang lebih stabil dan terorganisasi, yang menjadi dasar bagi kemampuan berpikir komputasional. Dengan berlandaskan pada konstruktivisme, konstruktivisme sosial, teori belajar bermakna, dan teori pemrosesan informasi, draf awal model Pembelajaran Digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME dirancang sebagai model yang holistik dan kontekstual. Model ini diharapkan tidak hanya mampu meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa, tetapi juga mendorong pengembangan *Computational Thinking* secara berkelanjutan melalui aktivitas pembelajaran digital yang terstruktur, reflektif, dan bermakna. Kerangka teoretis yang melandasi pengembangan draf produk ini secara ringkas disajikan pada Gambar 6, yang menggambarkan keterkaitan antara teori belajar, pendekatan APOS dan RME, serta tujuan pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Temuan pada bagian ini menunjukkan bahwa karakteristik model yang dikembangkan dibangun di atas keterpaduan landasan teoretis, kebutuhan empiris, dan orientasi pedagogis yang jelas.



Gambar 6. Peran Teori dalam Pengembangan Model

Model pembelajaran yang dirancang secara sistematis pada hakikatnya perlu memiliki komponen-komponen utama yang saling terintegrasi agar dapat diimplementasikan secara efektif. (Joyce et al., 2016) menyatakan bahwa suatu model pembelajaran yang utuh sekurang-kurangnya mencakup lima unsur pokok, yaitu sintaks pembelajaran, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, serta dampak instruksional dan dampak pengiring. Kelima komponen tersebut menjadi kerangka konseptual dalam merancang, melaksanakan, dan mengevaluasi model pembelajaran secara komprehensif. Oleh karena itu, pengembangan Model ARICT pada bagian ini diuraikan berdasarkan kelima komponen utama tersebut sebagai representasi karakteristik operasional model.

a) Sintaks

Sintaks dalam Model ARICT dikembangkan sebagai respons terhadap kebutuhan pembelajaran matematika di pendidikan tinggi, khususnya dalam pembelajaran Aljabar Linear, yang menuntut pemahaman konseptual mendalam, kemampuan abstraksi, serta penalaran logis yang kuat. Materi vektor, sebagai salah satu topik inti dalam Aljabar Linear, sering kali dipersepsi abstrak oleh mahasiswa apabila disajikan secara prosedural dan terlepas dari konteks nyata. Kondisi ini berpotensi menghambat pengembangan *Computational Thinking*, yang menekankan kemampuan

dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, dan perancangan solusi secara sistematis. Oleh karena itu, sintaks Model ARICT dirancang dengan mengintegrasikan prinsip pendekatan APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* (RME) dalam konteks pembelajaran digital berbasis *Learning Management System* (LMS). Integrasi ini bertujuan untuk memfasilitasi mahasiswa dalam membangun pemahaman konsep secara bertahap melalui tahapan kognitif yang terstruktur, sekaligus mengaitkan konsep matematika dengan situasi kontekstual yang bermakna. Selain itu, sintaks Model ARICT juga dikembangkan untuk mengatasi sejumlah kelemahan pembelajaran digital yang umum terjadi, seperti aktivitas belajar yang bersifat pasif, kurangnya scaffolding konseptual, serta minimnya umpan balik yang mendukung proses berpikir reflektif mahasiswa. Sintaks ARICT menjadi ciri utama model dalam mengintegrasikan konstruksi konsep APOS dan proses matematisasi dalam pembelajaran digital.

Model Konseptual: Pembelajaran Digital Terstruktur

Praktik pembelajaran digital di pendidikan tinggi saat ini menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi belum sepenuhnya diarahkan untuk mendukung proses berpikir mahasiswa secara mendalam. *Learning Management System* (LMS) umumnya digunakan sebagai sarana distribusi materi dan pengumpulan tugas, sementara pembelajaran tatap muka masih didominasi oleh ceramah dan diskusi sederhana. Pola pembelajaran seperti ini mencerminkan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran masih bersifat administratif dan belum diiringi dengan perubahan paradigma pembelajaran ke arah konstruktivistik yang berorientasi pada pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi (Bond, Bedenlier, et al., 2020; Martin, Sun, et al., 2020a).

Kondisi tersebut berdampak pada terbatasnya kesempatan mahasiswa untuk membangun pemahaman konseptual secara aktif, merefleksikan proses berpikirnya, serta mengembangkan *Computational Thinking* secara sistematis. Padahal, *Computational Thinking* merupakan keterampilan esensial yang mencakup kemampuan dekomposisi masalah, abstraksi, pengenalan pola, dan perancangan solusi secara logis, yang sangat relevan

dengan pembelajaran matematika di pendidikan tinggi (Tang et al., 2020; H. Wang & Liu, 2024; Wing, 2006). Oleh karena itu, diperlukan suatu rancangan pembelajaran digital yang tidak hanya memanfaatkan teknologi sebagai media, tetapi juga mengatur alur pembelajaran secara pedagogis untuk mendukung proses konstruksi pengetahuan mahasiswa.

Sebagai respons awal terhadap permasalahan tersebut, Model Konseptual dikembangkan sebagai model pembelajaran digital dengan alur pra-pembelajaran, kegiatan tatap muka, dan pasca-pembelajaran yang saling terhubung. Prototipe ini dirancang untuk membangun keterpaduan pedagogis antar tahapan pembelajaran, sehingga aktivitas yang dilakukan sebelum, selama, dan setelah tatap muka membentuk satu kesatuan proses belajar yang berorientasi pada pengembangan pemahaman konseptual dan proses berpikir mahasiswa. Model konseptual ini menjadi dasar awal bagi lahirnya sintaks operasional yang lebih terarah dalam Model ARICT.

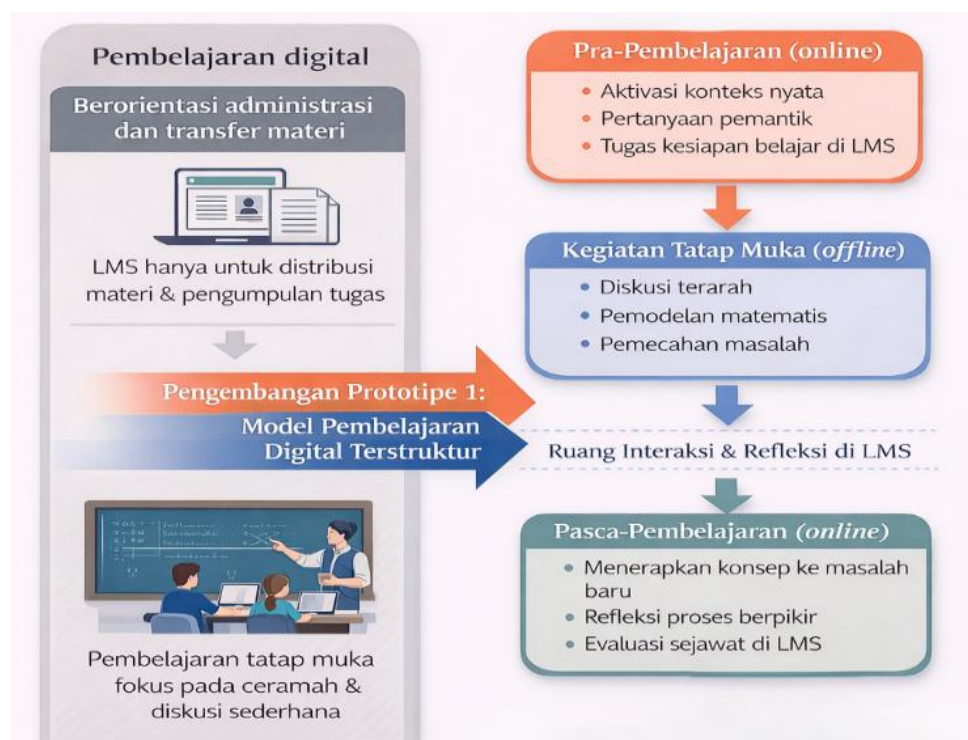
Tahap pertama dalam Model Konseptual adalah pra-pembelajaran, yang difokuskan pada aktivasi pengetahuan awal dan pembentukan kesiapan kognitif mahasiswa. Pada tahap ini, mahasiswa diarahkan untuk mengeksplorasi konteks permasalahan melalui penyajian situasi kontekstual, pertanyaan pemantik, dan tugas kesiapan belajar yang difasilitasi melalui LMS. Aktivitas ini dirancang untuk membangun keterkaitan antara pengetahuan awal mahasiswa dengan konsep yang akan dipelajari, sehingga mahasiswa memiliki dasar konseptual sebelum memasuki pembelajaran tatap muka. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip belajar bermakna yang menekankan pentingnya keterhubungan antara informasi baru dan struktur kognitif yang telah dimiliki mahasiswa (Ausubel, 1968)(Mayer, 2002). Dari perspektif *Computational Thinking*, tahap pra-pembelajaran melatih mahasiswa dalam mengenali komponen masalah dan pola awal sebagai dasar pemecahan masalah (Tang et al., 2020). Tahap ini mencerminkan awal proses matematisasi horizontal melalui pengenalan konteks dan identifikasi unsur-unsur masalah. Meskipun demikian, tahap pra-pembelajaran ini bukan merupakan sintaks utama Model ARICT, melainkan tahap penguatan kesiapan belajar mahasiswa sebelum pembelajaran berlangsung. Seluruh

sintaks inti ARICT tetap dilaksanakan pada saat proses pembelajaran berlangsung di kelas, termasuk tahap Activate Context yang diimplementasikan secara langsung dalam aktivitas pembelajaran untuk membangun konteks dan keterlibatan mahasiswa secara bersama-sama.

Tahap kedua adalah kegiatan tatap muka, yang difokuskan pada aktivitas konstruktif dan kolaboratif. Pada tahap ini, pembelajaran tidak lagi diarahkan pada penyampaian materi secara ekspositoris, tetapi pada pengembangan pemahaman konseptual melalui diskusi terarah, pemodelan matematis, dan pemecahan masalah. Mahasiswa didorong untuk menginterpretasi informasi yang telah dipelajari sebelumnya, menyusun representasi konsep, serta mengembangkan solusi secara sistematis. Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) dan instruksi pembelajaran tetap disediakan dalam LMS, sehingga aktivitas tatap muka dan aktivitas digital terhubung secara fungsional. Pendekatan ini mencerminkan pembelajaran konstruktivistik dan sosial-konstruktivistik, di mana pengetahuan dibangun melalui interaksi, dialog, dan refleksi bersama (Jonassen, 1999; Vygotsky, 1978). Dalam konteks *Computational Thinking*, aktivitas pada tahap ini memperkuat kemampuan abstraksi, penalaran logis, dan perancangan langkah-langkah penyelesaian masalah (L. Wang et al., 2024). Pada tahap ini, proses matematisasi bergerak dari pengolahan konteks menuju pembentukan struktur matematis yang lebih formal. Dengan demikian, seluruh tahapan sintaks ARICT, yaitu Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions, serta Transfer and Reflect dilaksanakan dalam proses pembelajaran inti di kelas sebagai satu kesatuan alur pembelajaran yang utuh dan berkesinambungan.

Tahap ketiga adalah pasca-pembelajaran, yang dirancang untuk mendukung proses transfer dan refleksi. Pada tahap ini, mahasiswa menerapkan konsep dan strategi yang telah dipelajari ke dalam permasalahan baru, serta merefleksikan proses berpikir yang telah dilalui. Aktivitas refleksi dilakukan melalui forum diskusi, tugas reflektif, dan evaluasi sejawat yang terintegrasi dalam LMS. Refleksi berperan penting dalam membantu mahasiswa menyadari strategi berpikir yang digunakan, mengidentifikasi

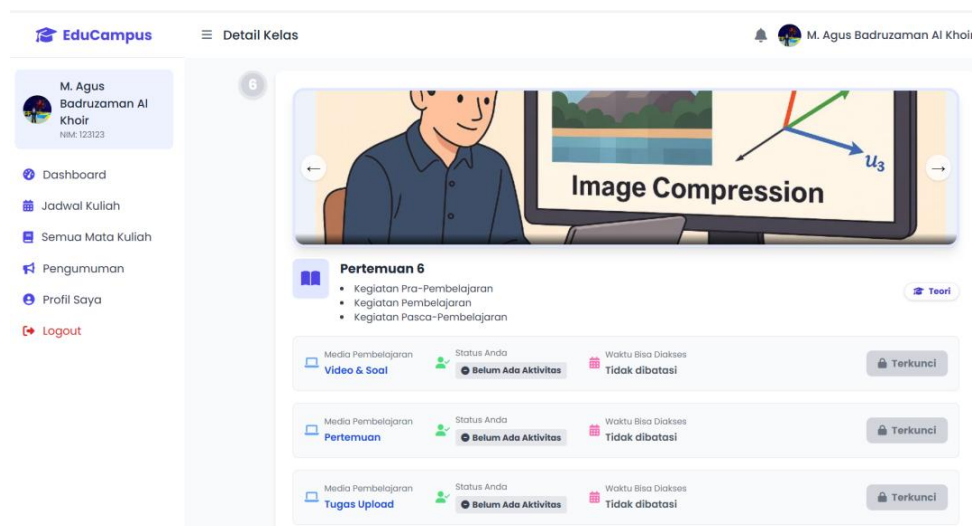
kesulitan yang dihadapi, serta memperkuat pemahaman konseptual yang telah dibangun (Schön, 1983; Zimmerman, 2002). Dengan demikian, pembelajaran tidak berhenti pada penyelesaian tugas, tetapi berlanjut pada pemaknaan dan generalisasi konsep. Tahap ini memperkuat transfer hasil matematisasi ke konteks baru serta penguatan metakognitif mahasiswa. aktivitas pasca-pembelajaran ini berfungsi sebagai penguatan dan pendalaman hasil belajar mahasiswa setelah seluruh sintaks ARICT dilaksanakan dalam pembelajaran inti. Oleh karena itu, tahap Transfer and Reflect sebagai bagian dari sintaks ARICT tetap dilakukan pada saat proses pembelajaran berlangsung, sedangkan kegiatan pasca-pembelajaran diarahkan untuk memperkuat refleksi, transfer konsep, dan keberlanjutan belajar mahasiswa secara mandiri.



Gambar 7. Model Konseptual Pembelajaran Digital Terstruktur

Sebagai bagian dari pengembangan model konseptual, rancangan pembelajaran digital terstruktur juga diimplementasikan secara operasional melalui *Learning Management System* (LMS). Implementasi ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga telah dirancang dalam bentuk operasional yang terintegrasi dengan lingkungan belajar digital. Setiap pertemuan dalam LMS

dirancang ke dalam tiga tahapan utama, yaitu kegiatan pra-pembelajaran, kegiatan pembelajaran tatap muka, dan kegiatan pasca-pembelajaran. Pembagian tahapan ini bertujuan untuk memastikan keterhubungan aktivitas belajar mahasiswa sebelum, selama, dan setelah tatap muka dalam satu kesatuan proses pembelajaran. Tampilan struktur kegiatan pembelajaran tersebut dalam LMS disajikan pada Gambar 8 berikut.

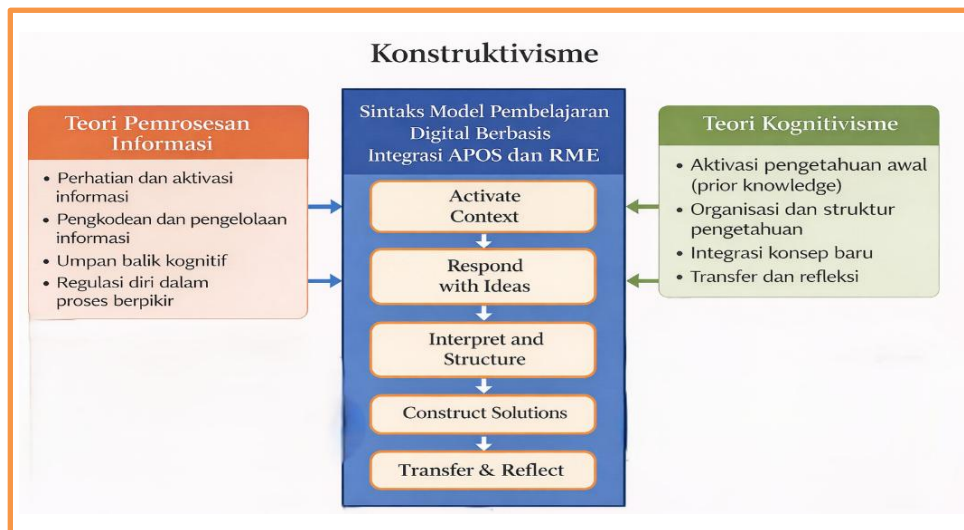


Gambar 8. Model Konseptual Pembelajaran Digital Terstruktur pada LMS

Model Operasional: Model ARICT

Berdasarkan hasil validasi ahli terhadap Model Konseptual (Model Pembelajaran Digital Terstruktur), diperoleh masukan bahwa meskipun alur pra-pembelajaran, kegiatan tatap muka, dan pasca-pembelajaran telah memberikan solusi awal terhadap praktik pembelajaran digital yang bersifat administratif, model tersebut masih memerlukan penajaman sintaks pedagogis agar setiap tahapan pembelajaran mampu mengarahkan proses berpikir mahasiswa secara lebih eksplisit dan progresif. Validator menilai bahwa keterhubungan teknis antaraktivitas belum sepenuhnya menjamin terjadinya konstruksi pengetahuan yang sistematis, khususnya dalam mendukung pengembangan *Computational Thinking* yang menuntut kemampuan dekomposisi masalah, abstraksi, pengenalan pola, dan perancangan solusi secara logis dan terstruktur (Tang et al., 2021; H. Wang & Liu, 2024; Wing, 2006). Oleh karena itu, Model Konseptual disempurnakan menjadi Model operasional, yaitu Model ARICT (*Activate–Respond–Interpret–Construct–Transfer*), sebagai kerangka pembelajaran

yang lebih operasional dan berorientasi pada penguatan proses berpikir mahasiswa. Perubahan dari model konseptual ke model operasional ini menegaskan karakteristik model sebagai hasil penyempurnaan bertahap yang berbasis masukan ahli dan kebutuhan pembelajaran. Keterkaitan antara sintaks ARICT dan landasan teoretis yang mendasarinya disajikan pada Gambar 9 sebagai kerangka konseptual pengembangan model.



Gambar 9. Landasan Teoretis Sintaks Model ARICT

Tahapan awal dalam model ARICT dirumuskan sebagai *Activate Context* untuk menegaskan pentingnya aktivasi konteks sebagai pintu masuk pembelajaran. Validator menekankan bahwa pembelajaran digital yang bermakna harus diawali dengan penyajian konteks yang relevan dengan pengalaman dan realitas mahasiswa agar terbentuk kesiapan kognitif dan kebutuhan belajar terhadap konsep yang akan dipelajari. Aktivasi konteks ini berfungsi untuk menghubungkan pengetahuan awal mahasiswa dengan permasalahan matematika yang disajikan, sehingga mahasiswa tidak hanya memahami apa yang dipelajari, tetapi juga mengapa konsep tersebut perlu dipelajari. Secara teoretis, pendekatan ini selaras dengan pandangan konstruktivisme yang memandang belajar sebagai proses aktif membangun pengetahuan melalui interaksi dengan lingkungan dan pengalaman bermakna (Piaget, 1952; Vygotsky, 1978), serta prinsip realitas dalam *Realistic Mathematics Education* yang menempatkan konteks nyata sebagai titik awal proses abstraksi matematika (Gravemeijer & Doorman, 1999a). Dari

perspektif *Computational Thinking*, tahap ini melatih mahasiswa untuk mengidentifikasi komponen masalah dan mengenali pola awal yang menjadi dasar pemecahan masalah. Tahap ini menunjukkan karakteristik model yang menempatkan konteks sebagai pemicu awal proses matematisasi dan berpikir komputasional.

Setelah konteks diaktifkan, model ARICT memfasilitasi tahap *Respond with Ideas*, yaitu fase di mana mahasiswa didorong untuk mengemukakan respons awal, dugaan, atau strategi awal terhadap permasalahan yang dihadapi. Validator menilai bahwa ruang untuk mengekspresikan ide awal sangat penting agar mahasiswa terlibat secara aktif sejak awal dan memiliki kesempatan untuk mengeksternalisasi proses berpikirnya. Tahap ini berfungsi sebagai jembatan antara pengalaman awal dan pembentukan pemahaman konseptual yang lebih formal. Dalam kerangka APOS, fase ini mencerminkan transisi dari action menuju process, di mana mahasiswa mulai memproses pengalaman konkret menjadi representasi mental. Dari sudut pandang *Computational Thinking*, aktivitas pada tahap ini mendukung pengembangan kemampuan dekomposisi dan pengenalan pola, karena mahasiswa mulai memecah permasalahan menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana dan mengidentifikasi hubungan antarunsur masalah (Tang et al., 2020; Wing, 2006). Bagian ini menegaskan bahwa model memberi ruang bagi eksternalisasi ide sebagai dasar perkembangan pemahaman dan matematisasi lebih lanjut.

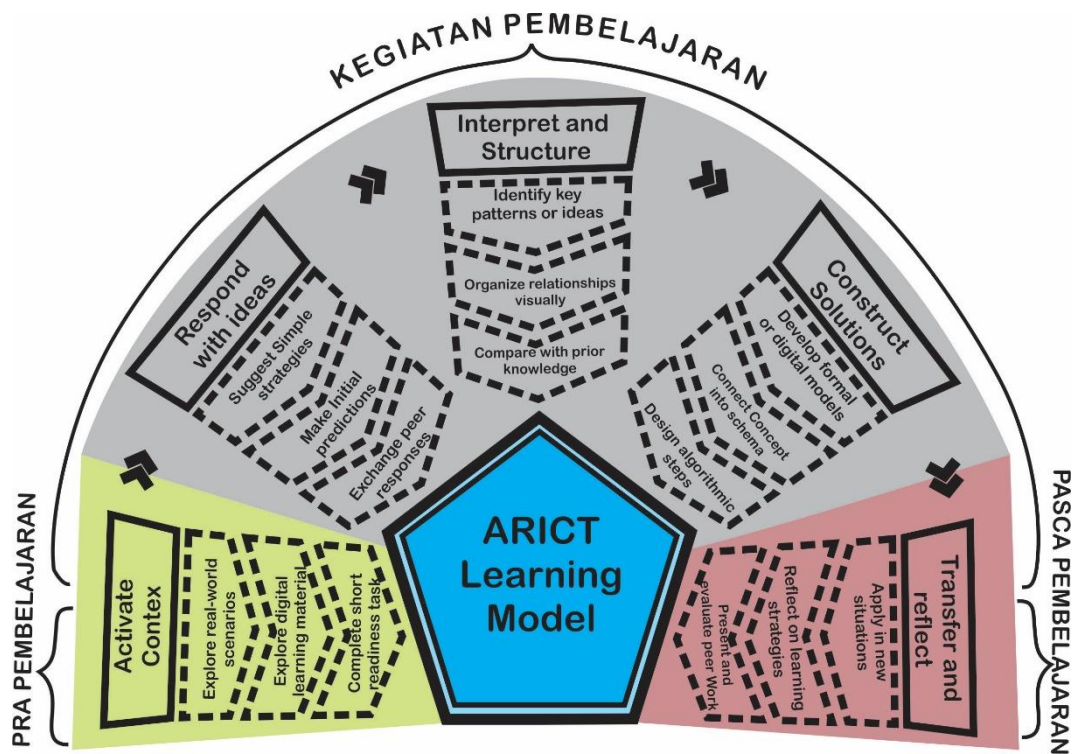
Tahapan selanjutnya dalam model ARICT adalah *Interpret and Structure*, yang dirancang untuk mengatasi kelemahan pembelajaran digital yang sering kali tidak memberikan panduan eksplisit dalam menstrukturkan pemahaman mahasiswa. Pada tahap ini, mahasiswa diarahkan untuk menafsirkan informasi yang diperoleh dari eksplorasi awal, menghubungkan berbagai ide yang muncul, menyusun representasi visual atau simbolik, serta membangun struktur konseptual yang lebih sistematis. Secara teoretis, tahap ini merepresentasikan fase *object* dalam APOS, di mana konsep matematika mulai dipahami sebagai entitas mental yang stabil dan terorganisasi. Dalam pendekatan RME, proses ini sejalan dengan matematisasi vertikal, yaitu

transformasi pemahaman kontekstual menuju struktur matematis yang lebih formal. Dari perspektif *Computational Thinking, Interpret and Structure* memperkuat kemampuan abstraksi dan penalaran logis yang menjadi fondasi penting dalam penyusunan solusi yang sistematis (L. Wang et al., 2024). Tahap ini merupakan titik sentral karakteristik model karena menempatkan proses matematisasi vertikal sebagai inti penguatan pemahaman konseptual mahasiswa.

Tahap *Construct Solutions* menempatkan mahasiswa pada fase pengembangan solusi sebagai bentuk integrasi dari konteks, ide awal, dan struktur konsep yang telah dibangun. Validator menekankan bahwa pembelajaran matematika yang bermakna harus memberi ruang bagi mahasiswa untuk membangun solusi secara mandiri dan sistematis, bukan sekadar mengikuti prosedur yang diberikan. Pada tahap ini, mahasiswa mengembangkan solusi dalam bentuk model matematis, representasi digital, atau langkah-langkah algoritmik yang merefleksikan pemahaman konseptual yang telah terbentuk. Dalam kerangka APOS, tahap ini memperkuat pembentukan *schema*, yaitu integrasi berbagai objek dan proses menjadi satu kesatuan pemahaman yang utuh. Dari sudut pandang *Computational Thinking, Construct Solutions* mendukung pengembangan *algorithmic thinking*, karena mahasiswa dituntut untuk merancang prosedur penyelesaian masalah secara logis dan berurutan (Tang et al., 2020; Wing, 2006). Tahap ini juga sejalan dengan prinsip pembelajaran konstruktivistik yang menekankan pentingnya keterlibatan aktif mahasiswa dalam membangun pengetahuan melalui pemecahan masalah autentik (Jonassen, 1999). Karakteristik model pada tahap ini tampak pada penekanan terhadap konstruksi solusi yang lahir dari hasil pemahaman dan matematisasi yang telah dibangun sebelumnya.

Tahapan akhir dalam model ARICT adalah *Transfer and Reflect*, yang berfungsi untuk memastikan bahwa pembelajaran tidak berhenti pada penyelesaian tugas atau solusi tertentu, tetapi berlanjut pada proses pemaknaan dan generalisasi konsep. Pada tahap ini, mahasiswa menerapkan konsep dan strategi yang telah dipelajari ke dalam konteks atau permasalahan

baru, sekaligus merefleksikan proses berpikir yang telah dilalui. Refleksi diarahkan untuk membantu mahasiswa menyadari strategi yang digunakan, mengevaluasi efektivitas solusi, serta mengidentifikasi aspek yang perlu diperbaiki pada proses berpikirnya. Secara teoretis, refleksi yang terarah berperan penting dalam penguatan skema kognitif dan pengembangan metakognisi (Schön, 1983; Zimmerman, 2020). Tahap ini memperlihatkan bahwa karakteristik model tidak berhenti pada pencapaian solusi, tetapi juga menekankan transfer pengetahuan dan refleksi sebagai bagian dari penguatan *Computational Thinking*. Struktur sintaks dan aktivitas operasional Model ARICT dalam pembelajaran digital disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Model Operasional ARICT

Gambar 10 tersebut menunjukkan struktur sintaks Model Pembelajaran ARICT sebagai arsitektur pedagogis yang terintegrasi dari tahap pra pembelajaran, kegiatan inti, hingga pasca pembelajaran. Setiap fase saling terhubung dan membentuk alur progresif yang dimulai dari eksplorasi konteks nyata, pengembangan ide, penataan konsep, konstruksi solusi matematis, hingga transfer dan refleksi. Alur ini mencerminkan proses matematisasi, yaitu pergerakan dari pengalaman kontekstual menuju representasi formal, yang didukung oleh integrasi pembelajaran digital dan interaksi kolaboratif. Dengan demikian, model ARICT tidak hanya menampilkan

urutan langkah pembelajaran, tetapi juga menggambarkan bagaimana mahasiswa membangun pemahaman matematis dan Computational Thinking secara bertahap dan sistematis.

Pada tahap Pra Pembelajaran (*Online*) melalui fase *Activate Context*, mahasiswa melakukan *explore real-world scenarios*, *explore digital learning material*, serta *complete readiness task via LMS*. Aktivitas ini berfungsi untuk mengaktifkan pengetahuan awal mahasiswa dan membantu mereka mengenali konteks permasalahan yang akan dibahas pada saat pembelajaran. Tahap pra-pembelajaran ini menjadi penguatan awal agar mahasiswa memiliki kesiapan konseptual sebelum memasuki kegiatan pembelajaran inti.

Selanjutnya pada Kegiatan Pembelajaran (*Offline*), fase *Activate Context* dilaksanakan melalui penyajian konteks nyata pada Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) yang menjadi titik awal eksplorasi konsep matematis mahasiswa. Selanjutnya, fase *Respond with Ideas* melibatkan aktivitas *suggest simple strategies*, *make initial predictions*, dan *exchange peer responses*. Kegiatan ini mendorong mahasiswa mengemukakan ide awal dan strategi informal sebagai dasar pengembangan pemahaman. Pada fase *Interpret and Structure*, mahasiswa melakukan *identify key patterns or ideas*, *visualize using digital tools*, serta *compare with prior knowledge*, sehingga terjadi proses pengorganisasian konsep dan transisi menuju matematisasi vertikal. Fase berikutnya yaitu *Construct Solutions*, ditandai dengan aktivitas *develop formal or digital models*, *connect concepts into schema*, dan *design algorithmic steps*. Pada tahap ini mahasiswa mulai membangun model matematis secara formal, mengintegrasikan konsep ke dalam struktur yang lebih utuh, serta menyusun solusi secara algoritmik dan sistematis. Selanjutnya, fase *Transfer and Reflect* juga dilaksanakan pada saat kegiatan pembelajaran berlangsung melalui aktivitas *apply in new situations*, *reflect on learning strategies*, serta *present and evaluate* hasil penyelesaian secara langsung dalam diskusi dan presentasi kelas. Tahap ini menekankan kemampuan transfer, refleksi, dan evaluasi sebagai bagian integral dari proses pembelajaran inti untuk memperkuat pemahaman konseptual dan pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa.

Pada tahap Pasca Pembelajaran (*Online*), mahasiswa melanjutkan aktivitas refleksi dan penguatan belajar melalui LMS, seperti meninjau kembali hasil diskusi, mengerjakan tugas lanjutan, serta memperdalam pemahaman konsep secara mandiri. Aktivitas pada tahap ini merupakan bagian dari penguatan fase *Transfer and Reflect* yang telah dilaksanakan pada kegiatan pembelajaran inti. Sehingga proses refleksi, transfer konsep, dan evaluasi pemahaman mahasiswa tetap berlanjut setelah pembelajaran berlangsung sebagai bentuk pendalaman dan keberlanjutan belajar secara mandiri.

Pada konteks sekolah atau institusi pendidikan yang belum memiliki dukungan teknologi dan infrastruktur digital yang memadai, implementasi Model ARICT tetap dapat dilakukan melalui penyesuaian pada strategi pelaksanaannya. Tahap pra-pembelajaran yang pada penelitian ini difasilitasi melalui LMS dapat diintegrasikan ke dalam bagian pendahuluan pada modul ajar. Aktivitas seperti *explore real-world scenarios*, pengenalan konteks masalah, apersepsi, serta pemberian motivasi belajar dapat dilaksanakan secara langsung oleh guru pada awal pembelajaran di kelas. Dengan demikian, fungsi tahap *Activate Context* tetap berjalan untuk mengaktifkan pengetahuan awal siswa dan membangun keterkaitan antara pengalaman nyata dengan konsep yang akan dipelajari, meskipun tanpa dukungan teknologi digital. Dalam implementasinya, guru dapat memanfaatkan media sederhana yang tersedia di lingkungan sekolah, seperti gambar, studi kasus kontekstual, cerita permasalahan sehari-hari, atau demonstrasi langsung sebagai pengganti media digital. Pendekatan ini tetap sejalan dengan prinsip matematisasi horizontal dalam RME, yaitu membawa siswa dari konteks nyata menuju pemahaman matematis secara bertahap. Oleh karena itu, meskipun LMS tidak digunakan, esensi sintaks *Activate Context* tetap dapat dipertahankan melalui kegiatan apersepsi dan motivasi pada bagian pendahuluan modul ajar.

Sementara itu, tahap pasca-pembelajaran dapat diarahkan dalam bentuk tugas rumah, latihan reflektif, jurnal belajar, atau proyek sederhana yang dikerjakan siswa secara mandiri di luar jam pembelajaran. Aktivitas ini berfungsi sebagai penguatan fase *Transfer and Reflect* yang telah dilakukan pada saat pembelajaran berlangsung. Melalui tugas lanjutan tersebut, siswa didorong untuk menerapkan konsep pada situasi baru, merefleksikan strategi penyelesaian yang telah digunakan, serta

memperdalam pemahaman konsep secara lebih mandiri dan berkelanjutan. Dengan penyesuaian tersebut, Model ARICT tetap dapat diterapkan secara fleksibel sesuai dengan kondisi dan fasilitas sekolah tanpa menghilangkan esensi konstruktivistik dan pengembangan *Computational Thinking* yang menjadi tujuan utama model pembelajaran ini.

b) Sistem Sosial

Sistem sosial yang dibangun dalam model ARICT merepresentasikan komunitas belajar yang kolaboratif dan reflektif, di mana mahasiswa dan dosen terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran yang berorientasi pada konstruksi pengetahuan. Dalam lingkungan pembelajaran ini, mahasiswa tidak diposisikan sebagai penerima informasi secara pasif, melainkan sebagai subjek pembelajar yang berperan aktif dalam mengemukakan ide, menafsirkan permasalahan, membangun solusi, serta merefleksikan proses berpikir yang telah dilalui. Interaksi sosial menjadi elemen kunci yang menopang setiap tahapan sintaks ARICT, baik dalam bentuk diskusi, pertukaran gagasan, maupun kerja kolaboratif dalam pemecahan masalah.

Peran dosen dalam sistem sosial model ARICT lebih menekankan fungsi fasilitatif dan scaffolding pedagogis. Dosen bertugas merancang situasi belajar yang menantang namun bermakna, memberikan arahan konseptual saat dibutuhkan, serta mendorong mahasiswa untuk mengembangkan pemahaman secara mandiri dan bertanggung jawab. Pendekatan ini menciptakan iklim pembelajaran yang aman dan suportif, sehingga mahasiswa terdorong untuk berani menyampaikan gagasan awal, mengajukan pertanyaan kritis, serta merevisi pemahamannya tanpa kekhawatiran akan kesalahan. Sikap terbuka dan responsif dari dosen menjadi prasyarat penting dalam menumbuhkan keterlibatan kognitif dan afektif mahasiswa sepanjang proses pembelajaran.

Interaksi antarmahasiswa dalam model ARICT juga berfungsi sebagai wahana utama bagi pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Melalui diskusi dan kolaborasi, mahasiswa belajar mengartikulasikan ide, memahami perspektif yang berbeda, serta menyepakati representasi dan solusi yang paling rasional terhadap permasalahan yang dihadapi. Proses ini

tidak hanya memperkuat pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir komputasional, tetapi juga mengembangkan keterampilan sosial seperti komunikasi, kerja sama, dan empati. Sistem sosial dalam Model ARICT menjadi salah satu karakteristik penting yang mendukung konstruksi pengetahuan, interaksi reflektif, dan proses matematisasi secara kolaboratif.

Tabel 21. Aktivitas Dosen dan Mahasiswa dalam Model ARICT

Sintaks ARICT	Deskripsi Sintaks	Aktivitas Dosen	Aktivitas Mahasiswa
<i>Activate Context</i>	Tahap awal yang bertujuan mengaktifkan pengetahuan awal dan membangun kesiapan kognitif mahasiswa melalui penyajian konteks permasalahan yang relevan dan bermakna	Menyajikan konteks permasalahan nyata; menyediakan materi pembelajaran digital yang relevan; merancang pertanyaan pemantik dan tugas kesiapan belajar; mengarahkan perhatian mahasiswa pada tujuan pembelajaran	Mengeksplorasi konteks permasalahan; mempelajari materi pembelajaran digital; mengaitkan konteks dengan pengetahuan awal yang dimiliki; menyelesaikan tugas kesiapan belajar
<i>Respond with Ideas</i>	Tahap untuk mendorong mahasiswa mengekspresikan ide awal, dugaan, dan strategi awal sebagai bentuk eksternalisasi proses berpikir	Memfasilitasi diskusi awal; memberi ruang bagi mahasiswa untuk mengemukakan ide; mendorong pertukaran gagasan antarmahasiswa; memberikan klarifikasi awal tanpa mendominasi proses berpikir	Mengemukakan ide dan strategi awal; membuat prediksi terhadap kemungkinan 125angka; bertukar respons dengan teman; mendiskusikan berbagai alternatif pendekatan
<i>Interpret and Structure</i>	Tahap penafsiran dan pengorganisasian ide untuk membangun pemahaman konseptual yang lebih terstruktur dan sistematis	Membimbing proses analisis; mengarahkan penyusunan representasi visual atau simbolik; membantu mahasiswa mengklarifikasi hubungan antar konsep	Mengidentifikasi pola dan ide kunci; mengorganisasikan informasi secara visual atau simbolik; membandingkan konsep baru dengan pengetahuan awal; 125angkahl25 struktur pemahaman konseptual

Sintaks ARICT	Deskripsi Sintaks	Aktivitas Dosen	Aktivitas Mahasiswa
<i>Construct Solutions</i>	Tahap pengembangan 126angka sebagai hasil integrasi konteks, ide awal, dan struktur konsep yang telah dibangun	Memberikan scaffolding konseptual dan teknis; memfasilitasi pemodelan matematis atau digital; memberikan umpan balik terhadap rancangan 126angka mahasiswa	Mengembangkan 126angka dalam bentuk model matematis atau representasi digital; menghubungkan konsep menjadi satu kesatuan skema; merancang 126angkah-langkah penyelesaian masalah secara algoritmik
<i>Transfer and Reflect</i>	Tahap penerapan konsep pada situasi baru serta refleksi terhadap proses dan strategi berpikir yang telah dilakukan	Menyusun tugas transfer; memfasilitasi refleksi individu dan kelompok; mengarahkan evaluasi sejawat; memberikan umpan balik reflektif untuk perbaikan berkelanjutan	Menerapkan konsep dan strategi pada permasalahan baru; merefleksikan proses berpikir yang digunakan; mempresentasikan hasil; melakukan evaluasi diri dan evaluasi sejawat

c) Prinsip Reaksi

Prinsip reaksi dalam model ARICT tercermin dalam peran aktif dosen sebagai fasilitator reflektif yang secara responsif memberikan arahan, scaffolding, dan umpan balik konstruktif terhadap proses berpikir mahasiswa pada setiap tahapan pembelajaran. Dalam model ini, dosen tidak berperan sebagai penyampai informasi utama, melainkan sebagai pengelola proses belajar yang peka terhadap kebutuhan, kesulitan, dan perkembangan kognitif mahasiswa. Prinsip reaksi diwujudkan melalui interaksi dialogis yang berkelanjutan, di mana dosen merespons ide, strategi, dan solusi yang dikembangkan mahasiswa dengan pertanyaan pengarah, klarifikasi konseptual, serta umpan balik formatif yang bertujuan memperdalam pemahaman dan memperkuat proses konstruksi pengetahuan.

Pada setiap sintaks ARICT, respons dosen disesuaikan dengan karakteristik proses berpikir mahasiswa. Pada tahap *Activate Context*, dosen memberikan pertanyaan pemantik dan penguatan konteks untuk membantu

mahasiswa mengaitkan permasalahan dengan pengetahuan awal yang telah dimiliki. Pada tahap *Respond with Ideas* dan *Interpret and Structure*, dosen berperan dalam memfasilitasi diskusi, memperluas sudut pandang mahasiswa, serta membantu mengarahkan dan menata ide agar berkembang menjadi pemahaman konseptual yang lebih terstruktur. Sementara itu, pada tahap *Construct Solutions*, dosen memberikan scaffolding konseptual dan teknis secara proporsional, tanpa mengambil alih proses berpikir mahasiswa, sehingga mahasiswa tetap memiliki otonomi dalam merancang dan mengembangkan solusi secara mandiri. Umpan balik yang diberikan tidak berfokus semata pada hasil akhir, tetapi pada proses berpikir yang ditempuh mahasiswa, sejalan dengan prinsip *assessment for learning* yang menempatkan umpan balik sebagai sarana utama untuk meningkatkan kualitas belajar (Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2019).

Selain interaksi antara dosen dan mahasiswa, prinsip reaksi dalam model ARICT juga menekankan pentingnya umpan balik antarmahasiswa sebagai bagian integral dari proses pembelajaran. Mahasiswa didorong untuk terlibat aktif dalam diskusi dan kerja kolaboratif, memberikan tanggapan dan masukan yang bersifat konstruktif, serta saling memperkaya pemahaman terhadap ide dan solusi yang dikembangkan. Interaksi sosial ini berperan penting dalam membantu mahasiswa membangun pemahaman yang lebih mendalam melalui proses negosiasi makna, sebagaimana ditekankan dalam konstruktivisme sosial (Nicol & Macfarlane-Dick, 2006; Vygotsky, 1978). Melalui pertukaran gagasan dan refleksi bersama, mahasiswa belajar melihat permasalahan dari berbagai perspektif dan menyempurnakan struktur pemahamannya.

Secara teoretis, prinsip reaksi dalam model ARICT berlandaskan pada konstruktivisme, konstruktivisme sosial, teori belajar bermakna, dan teori pemrosesan informasi. Dari perspektif konstruktivisme, umpan balik dosen dan teman sejawat membantu mahasiswa merekonstruksi pengetahuannya secara aktif melalui pengalaman belajar yang bermakna (Fosnot, 2013; Piaget, 1952). Konstruktivisme sosial menekankan bahwa interaksi dan dialog berperan sebagai medium utama dalam pembentukan pemahaman

bersama. Sementara itu, teori belajar bermakna memandang umpan balik sebagai sarana untuk mengaitkan informasi baru dengan struktur kognitif yang telah dimiliki mahasiswa, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan bertahan lama (Ausubel, 1968). Dalam kerangka teori pemrosesan informasi, umpan balik berfungsi untuk membantu mahasiswa memonitor, mengorevisi, dan mengoptimalkan strategi berpikirnya, sehingga informasi yang dipelajari dapat diproses, disimpan, dan digunakan secara lebih efektif dalam pemecahan masalah. Melalui prinsip reaksi yang dialogis, suportif, dan berkelanjutan, model ARICT mendukung pengembangan kemampuan self-regulated learning dan memperkuat proses berpikir komputasional mahasiswa secara sistematis. Hal ini menegaskan bahwa prinsip reaksi merupakan karakteristik model yang memastikan proses belajar berlangsung secara adaptif, dialogis, dan berorientasi pada perkembangan berpikir mahasiswa.

d) Sistem Pendukung

Sistem pendukung dalam model ARICT mencakup berbagai komponen yang berfungsi untuk memastikan keterlaksanaan pembelajaran secara efektif, terstruktur, dan berorientasi pada pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Sistem ini dirancang untuk mendukung setiap tahapan sintaks ARICT melalui penyediaan sumber belajar, teknologi pembelajaran, serta mekanisme interaksi dan umpan balik yang selaras dengan landasan teoretis penelitian. Sistem pendukung tidak hanya berfungsi sebagai pelengkap teknis, tetapi sebagai bagian integral dari karakteristik model pembelajaran yang dikembangkan.

1. Sumber Belajar Digital dan Kontekstual

Sumber belajar digital menjadi komponen utama dalam sistem pendukung model ARICT. Sumber ini mencakup bahan bacaan digital, modul pembelajaran, video pembelajaran, serta contoh-contoh penerapan konsep matematika dalam konteks nyata. Keberagaman sumber belajar tersebut memungkinkan mahasiswa untuk mengeksplorasi konsep secara mandiri dan mendalam sesuai dengan kebutuhan belajarnya. Dari perspektif teori belajar bermakna, penyajian

materi yang kontekstual membantu mahasiswa mengaitkan informasi baru dengan struktur kognitif yang telah dimiliki, sehingga proses belajar menjadi lebih bermakna.

2. *Learning Management System (LMS)*

Learning Management System (LMS) berfungsi sebagai pusat pengelolaan pembelajaran dalam model ARICT. LMS digunakan untuk menyajikan materi dan aktivitas pra-pembelajaran, memfasilitasi diskusi daring, mengelola tugas dan refleksi pasca pembelajaran, serta mendukung pemberian umpan balik secara berkelanjutan. Melalui LMS, pembelajaran daring dan tatap muka terhubung secara fungsional, sehingga mahasiswa dapat mengakses aktivitas belajar secara fleksibel namun tetap terstruktur. Dalam kerangka teori pemrosesan informasi, LMS membantu mahasiswa mengelola aliran informasi mulai dari tahap penerimaan, pengorganisasian, hingga penerapan konsep.

3. GeoGebra sebagai Media Eksplorasi dan Visualisasi Matematis

GeoGebra digunakan sebagai media pendukung utama dalam pembelajaran matematika pada model ARICT, khususnya untuk memfasilitasi eksplorasi, visualisasi, dan pemodelan konsep secara dinamis. Melalui GeoGebra, mahasiswa dapat memanipulasi objek matematis, mengamati perubahan secara langsung, serta menguji berbagai dugaan dan strategi penyelesaian masalah. Pemanfaatan GeoGebra mendukung tahap *Respond with Ideas* dan *Interpret and Structure* dengan menyediakan representasi visual yang membantu mahasiswa mengidentifikasi pola, hubungan antar konsep, dan struktur matematis secara lebih jelas. Selain itu, pada tahap *Construct Solutions*, GeoGebra berperan sebagai alat untuk mengembangkan model formal atau digital serta merancang langkah-langkah algoritmik secara sistematis. Dari sudut pandang teori pemrosesan informasi, visualisasi dinamis yang disediakan GeoGebra membantu mengurangi beban kognitif dan meningkatkan kualitas pemrosesan informasi. Keberadaan GeoGebra memperkuat karakteristik model sebagai pembelajaran

digital yang mendukung eksplorasi, visualisasi, dan matematisasi secara lebih konkret.

4. Peran Dosen sebagai Fasilitator Pembelajaran

Dosen berperan sebagai fasilitator yang merancang pengalaman belajar, memberikan scaffolding konseptual dan teknis, serta menyediakan umpan balik yang konstruktif sepanjang proses pembelajaran. Dalam konteks penggunaan GeoGebra, dosen membantu mahasiswa memahami cara memanfaatkan fitur-fitur perangkat lunak secara efektif tanpa mengurangi kemandirian mereka dalam bereksplorasi. Peran fasilitatif ini sejalan dengan konstruktivisme dan konstruktivisme sosial, yang menekankan pentingnya bimbingan dan interaksi dalam membangun pemahaman.

5. Kegiatan Kolaboratif dan Diskusi

Model ARICT didukung oleh aktivitas kolaboratif yang memungkinkan mahasiswa bekerja dalam kelompok dan terlibat dalam diskusi terarah. Melalui diskusi berbasis hasil eksplorasi menggunakan GeoGebra, mahasiswa dapat membandingkan representasi, mendiskusikan strategi, serta mengklarifikasi pemahaman konseptual. Aktivitas kolaboratif ini memperkaya proses belajar melalui pertukaran ide dan negosiasi makna, serta mendukung pengembangan keterampilan komunikasi dan kerja sama akademik.

6. Evaluasi dan Umpan Balik Berkelanjutan

Sistem pendukung dalam model ARICT juga mencakup mekanisme evaluasi dan umpan balik yang dilakukan secara berkelanjutan. Evaluasi diarahkan tidak hanya pada hasil akhir pembelajaran, tetapi juga pada proses berpikir mahasiswa, termasuk cara mereka memanfaatkan GeoGebra dalam mengeksplorasi dan membangun solusi. Umpan balik formatif diberikan untuk membantu mahasiswa merefleksikan strategi yang digunakan, mengidentifikasi kesalahan atau miskonsepsi, serta memperbaiki pendekatan pemecahan masalah. Melalui evaluasi dan umpan balik yang terarah, mahasiswa didorong untuk mengembangkan regulasi diri dalam belajar dan

memperkuat kemampuan berpikir komputasional. Keseluruhan sistem pendukung ini menunjukkan bahwa model ARICT dirancang sebagai lingkungan belajar yang utuh, adaptif, dan terintegrasi dengan kebutuhan pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa.

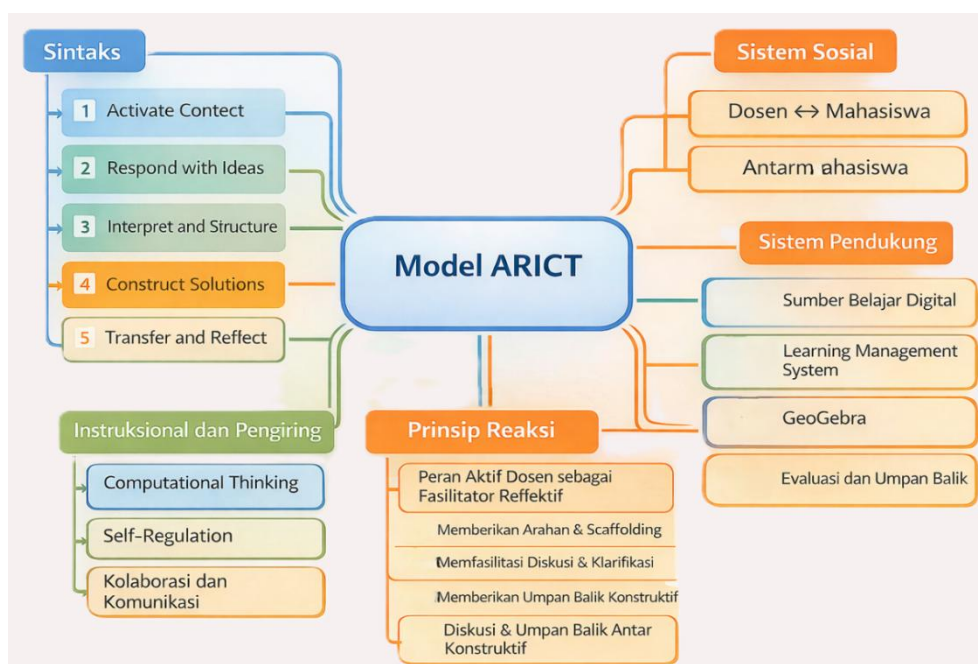
e) Dampak Intruksional dan Dampak Pengiring

Dampak instruksional dalam model ARICT merujuk pada hasil pembelajaran langsung yang dicapai melalui penerapan sintaks pembelajaran yang terstruktur dan berorientasi pada proses berpikir mahasiswa. Melalui tahapan *Activate Context*, *Respond with Ideas*, *Interpret and Structure*, *Construct Solutions*, dan *Transfer and Reflect*, model ARICT dirancang untuk meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa terhadap materi matematika secara lebih mendalam dan bermakna. Dampak instruksional utama dari model ini adalah berkembangnya kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa, yang mencakup keterampilan dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi konsep, serta perancangan langkah-langkah penyelesaian masalah secara logis dan sistematis.

Dalam proses pembelajaran, mahasiswa tidak hanya diarahkan untuk memahami konsep secara prosedural, tetapi juga untuk membangun pemahaman konseptual yang terintegrasi melalui eksplorasi konteks, diskusi ide awal, penstrukturan konsep, serta pengembangan solusi berbasis pemodelan matematis dan visualisasi digital, termasuk melalui pemanfaatan GeoGebra. Dengan demikian, mahasiswa diharapkan mampu menghasilkan solusi yang beragam, rasional, dan dapat dipertanggungjawabkan secara matematis. Model ARICT memberikan ruang bagi mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan berpikir divergen, yaitu menghasilkan berbagai kemungkinan strategi dan representasi solusi, sekaligus berpikir konvergen dalam mengevaluasi, menyempurnakan, dan memilih solusi yang paling tepat berdasarkan struktur konsep yang telah dibangun. Dampak instruksional ini tercermin dalam peningkatan kemampuan mahasiswa dalam memecahkan masalah matematika secara sistematis dan kontekstual, tidak sekadar mengandalkan hafalan rumus atau prosedur, tetapi mengaitkan konsep abstrak dengan representasi visual, model formal, dan situasi nyata.

Selain dampak instruksional, model ARICT juga menghasilkan dampak pengiring yang mendukung perkembangan mahasiswa secara holistik. Dampak pengiring ini mencakup berkembangnya keterampilan sosial dan regulasi diri yang terbentuk melalui interaksi dan kolaborasi selama proses pembelajaran. Melalui diskusi kelompok, kerja kolaboratif, serta evaluasi sejawat yang terintegrasi dalam setiap tahapan sintaks, mahasiswa dilatih untuk berkomunikasi secara efektif, menghargai perbedaan pandangan, serta bekerja sama dalam menyelesaikan permasalahan yang kompleks. Selain itu, tahapan *Transfer and Reflect* mendorong mahasiswa untuk merefleksikan strategi belajar yang digunakan, memonitor kemajuan belajarnya, dan melakukan penyesuaian strategi secara mandiri, sehingga mendukung pengembangan kemampuan self-regulated learning. Dampak pengiring ini, meskipun tidak selalu terukur secara langsung dalam capaian kognitif, berperan penting dalam membentuk sikap belajar yang reflektif, adaptif, dan berkelanjutan, yang sangat relevan dengan tuntutan pembelajaran matematika dan pengembangan kompetensi abad ke-21. Dampak instruksional dan dampak pengiring memperlihatkan bahwa karakteristik Model ARICT tidak hanya terletak pada struktur dan prosesnya, tetapi juga pada hasil belajar langsung dan perkembangan kemampuan pendukung yang ditumbuhkan melalui pembelajaran.

Gambar 11 berikut menyajikan komponen utama Model ARICT sebagai kerangka pembelajaran yang terintegrasi untuk mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa dalam pembelajaran matematika di pendidikan tinggi. Diagram ini menggambarkan keterkaitan antara sintaks pembelajaran, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, serta dampak instruksional dan pengiring yang saling berinteraksi dalam satu kesatuan model. Melalui visualisasi ini, Model ARICT diposisikan tidak hanya sebagai urutan langkah pembelajaran, tetapi sebagai sistem pedagogis yang komprehensif, di mana setiap komponen berperan secara fungsional dalam mengarahkan proses berpikir mahasiswa secara konstruktif, reflektif, dan berkelanjutan.



Gambar 11. Komponen Model ARICT

2) Instrumen Penelitian dan Perangkat Pembelajaran

Instrumen penelitian merupakan perangkat yang digunakan untuk mengumpulkan data yang relevan dengan tujuan penelitian, khususnya dalam mengevaluasi kepraktisan dan efektivitas Model ARICT dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa. Instrumen ini memiliki peran strategis dalam memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat valid, reliabel, dan mampu memberikan gambaran yang akurat mengenai kualitas implementasi model pembelajaran yang dikembangkan. Oleh karena itu, penyusunan instrumen dilakukan secara sistematis dan disesuaikan dengan karakteristik sintaks Model ARICT serta konteks pembelajaran matematika, khususnya pada materi Aljabar Linear. Dalam penelitian ini, dikembangkan empat jenis instrumen utama. Pertama, instrumen validasi model pembelajaran yang digunakan untuk menilai kelayakan konseptual dan pedagogis Model ARICT, mencakup kejelasan sintaks, keterpaduan komponen model, serta kesesuaiannya dengan landasan teoretis yang digunakan. Kedua, instrumen observasi keterlaksanaan model, yang berfungsi untuk menilai sejauh mana setiap tahapan sintaks ARICT dapat dilaksanakan secara konsisten oleh dosen dan diikuti secara aktif oleh

mahasiswa selama proses pembelajaran. Ketiga, instrumen tes kognitif yang dirancang untuk mengukur kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa, yang meliputi aspek dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, dan perancangan langkah-langkah algoritmik dalam menyelesaikan permasalahan Aljabar Linear. Keempat, angket respons dosen dan mahasiswa yang digunakan untuk menggali persepsi, pengalaman belajar, serta kendala yang dihadapi selama penerapan Model ARICT. Penyusunan instrumen ini menunjukkan bahwa pengembangan model tidak hanya menghasilkan rancangan pembelajaran, tetapi juga perangkat evaluasi yang selaras dengan karakteristik model yang dikembangkan.

Selain instrumen penelitian, penelitian pengembangan ini juga menghasilkan perangkat pembelajaran pendukung yang dirancang selaras dengan sintaks Model ARICT. Perangkat tersebut meliputi Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM). RPS disusun sebagai panduan sistematis bagi dosen dalam mengimplementasikan pembelajaran berbasis ARICT, mulai dari tahap *Activate Context* hingga *Transfer and Reflect*, baik pada pembelajaran daring maupun luring. Sementara itu, LKM dikembangkan untuk memfasilitasi keterlibatan aktif mahasiswa dalam mengeksplorasi konteks permasalahan, mengemukakan ide awal, menstrukturkan konsep, mengembangkan solusi, serta melakukan refleksi dan transfer pengetahuan, termasuk melalui pemanfaatan media digital seperti GeoGebra.

Seluruh instrumen dan perangkat pembelajaran yang dikembangkan selanjutnya divalidasi oleh para ahli untuk memastikan kelayakan isi, kejelasan konstruksi, dan keterpaduannya dalam mendukung tujuan pembelajaran. Instrumen validasi yang digunakan meliputi: (1) instrumen validasi model ARICT, (2) instrumen validasi RPS dan LKM, (3) instrumen validasi lembar observasi keterlaksanaan model, (4) instrumen validasi tes *Computational Thinking*, dan (5) instrumen validasi angket respons dosen dan mahasiswa. Proses validasi melibatkan pakar pendidikan matematika, ahli pengembangan pembelajaran, serta praktisi pendidikan tinggi, sehingga penilaian yang diperoleh bersifat komprehensif dan mencerminkan kelayakan

instrumen serta perangkat pembelajaran untuk digunakan dalam implementasi Model ARICT. Perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari karakteristik operasional model yang dikembangkan.

2. Kevalidan Model Pembelajaran

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa Model ARICT yang dikembangkan memiliki konstruksi konseptual yang kuat, isi yang selaras dengan tujuan pembelajaran, serta penggunaan bahasa yang jelas, konsisten, dan mudah dipahami oleh mahasiswa. Proses validasi ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kualitas model sekaligus mengidentifikasi aspek-aspek yang masih perlu disempurnakan agar model dapat berfungsi secara optimal dalam mendukung pembelajaran matematika di pendidikan tinggi yang berorientasi pada pengembangan *Computational Thinking*. Proses ini menjadi dasar dalam menjawab rumusan masalah terkait tingkat kevalidan model yang dikembangkan.

Masukan yang diberikan oleh para validator materi berperan penting dalam memperkuat kejelasan sintaks ARICT, keterpaduan antar komponen model, serta kesesuaian model dengan landasan teoretis yang digunakan, yaitu integrasi pendekatan APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* (RME). Melalui proses validasi dan revisi, model disempurnakan agar lebih sistematis, aplikatif, dan mampu memfasilitasi mahasiswa dalam membangun pemahaman konseptual, kemampuan abstraksi, serta penalaran logis secara bertahap. Dengan demikian, Model ARICT diharapkan tidak hanya layak secara teoretis, tetapi juga praktis dan efektif untuk diimplementasikan dalam pembelajaran Aljabar Linear.

a. Hasil Validasi Model

Validasi oleh validator materi bertujuan untuk menilai kelayakan model pembelajaran ARICT dari aspek validitas konstruk dan validitas isi. Penilaian difokuskan pada ketepatan konsep, kejelasan tujuan pembelajaran, keterpaduan sintaks pembelajaran, kesesuaian aktivitas pembelajaran dengan karakteristik mahasiswa, serta kejelasan dan konsistensi bahasa yang digunakan dalam penyajian model. Aspek bahasa dinilai sebagai bagian dari kelayakan penyajian model untuk

memastikan bahwa istilah, instruksi, dan deskripsi sintaks dapat dipahami dengan baik serta tidak menimbulkan ambiguitas dalam implementasi pembelajaran. Penilaian ini menunjukkan bahwa kevalidan model ditinjau secara komprehensif, baik dari sisi isi, struktur, maupun kejelasan komunikatifnya. Hasil penilaian yang diberikan oleh tiga validator materi, model pembelajaran ARICT dinyatakan valid dan layak digunakan dengan rincian hasil uji validasi sebagaimana disajikan pada Tabel 22.

Tabel 22. Hasil Uji Validasi Model oleh Validator Materi

Aspek Validasi	Indeks Validitas	Kategori
Konstruk	0,906	Layak Digunakan
Konten (Isi)	0,924	Layak Digunakan
Bahasa	0,917	Layak Digunakan

Berdasarkan Tabel 22, rata-rata indeks validitas yang diperoleh sebesar 0,916, yang menunjukkan bahwa model pembelajaran ARICT secara keseluruhan berada pada kategori layak digunakan. Nilai ini mengindikasikan bahwa model telah memenuhi standar validitas yang tinggi. Meskipun demikian, para validator materi memberikan sejumlah saran perbaikan terutama terkait kejelasan sintaks pembelajaran, konsistensi istilah, serta penguatan keterkaitan antara aktivitas pembelajaran dan pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Saran-saran tersebut digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi dan penyempurnaan model agar lebih praktis dan efektif dalam mendukung proses pembelajaran. Rekapitulasi saran perbaikan dari validator materi beserta hasil revisinya disajikan pada Tabel 23.

Tabel 23. Rekapitulasi Saran Perbaikan Dari Validator Materi

Validator	Aspek	Saran Perbaikan	Hasil Revisi
1	Konstruk	Sintaks model ARICT perlu dijelaskan secara lebih rinci agar alur berpikir mahasiswa pada setiap tahap terlihat eksplisit dan progresif.	Deskripsi setiap sintaks ARICT diperjelas dengan penjabaran tujuan kognitif, aktivitas pembelajaran, dan keterkaitannya dengan <i>Computational Thinking</i> .
	Konten	Contoh penerapan model dalam konteks pembelajaran Aljabar Linear perlu ditambahkan agar relevan dengan materi yang diteliti.	Contoh penerapan sintaks ARICT pada materi vektor dalam Aljabar Linear ditambahkan secara kontekstual.

Validator	Aspek	Saran Perbaikan	Hasil Revisi
	Bahasa	Beberapa istilah teknis perlu disederhanakan agar lebih komunikatif tanpa menghilangkan makna akademik.	Penyederhanaan istilah dan perbaikan redaksi dilakukan dengan tetap menjaga ketepatan konsep ilmiah.
2	Konstruk	Keterkaitan antar komponen model (sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, dan sistem pendukung) perlu diperjelas secara visual.	Diagram konseptual dan bagan komponen model ARICT ditambahkan untuk memperjelas hubungan antar komponen.
	Konten	Penjelasan peran setiap sintaks dalam mendukung pengembangan <i>Computational Thinking</i> perlu diperkuat.	Keterkaitan setiap sintaks ARICT dengan indikator <i>Computational Thinking</i> diperjelas dalam uraian model.
	Bahasa	Konsistensi penggunaan istilah ARICT perlu dijaga di seluruh bagian dokumen.	Seluruh istilah diperiksa dan diseragamkan agar konsisten dalam penulisan dan penggunaan istilah.
3	Konstruk	Model perlu menunjukkan fleksibilitas penerapan pada mahasiswa dengan tingkat kemampuan awal yang beragam.	Strategi diferensiasi pembelajaran dan variasi aktivitas ditambahkan untuk mengakomodasi perbedaan karakteristik mahasiswa.
	Konten	Aktivitas pembelajaran perlu lebih menonjolkan keterkaitan antara konteks nyata dan konsep matematika agar mendukung pembelajaran bermakna.	Contoh konteks nyata dan ilustrasi penerapan konsep matematika ditambahkan pada setiap sintaks yang relevan.
	Bahasa	Beberapa kalimat dalam penjelasan model masih terlalu panjang dan kompleks.	Struktur kalimat disederhanakan agar lebih jelas, ringkas, dan mudah dipahami.

b. Hasil Validasi Media

Validasi media dilakukan oleh dua validator media dengan tujuan untuk menilai kelayakan media pembelajaran digital berbasis *Learning Management System* (LMS) yang digunakan dalam implementasi model ARICT. Kedua validator media menilai aspek yang sama, yaitu tampilan visual, keterpakaian (*usability*), navigasi, serta kemudahan akses dan penggunaan media oleh dosen dan mahasiswa. Penilaian terhadap keempat aspek tersebut dimaksudkan untuk

memastikan bahwa media pembelajaran tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga mendukung keterlaksanaan sintaks model ARICT secara efektif dan efisien. Hal ini menunjukkan bahwa kevalidan model juga ditinjau dari kesiapan media sebagai bagian integral dari pembelajaran digital. Hasil penilaian dari kedua validator media menunjukkan bahwa media pembelajaran digital berbasis LMS yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan. Rekapitulasi hasil uji validasi media oleh validator media disajikan pada Tabel 24.

Tabel 24. Hasil Uji Validasi Media Pembelajaran oleh Validator Media

Aspek Validasi Media	Indeks Validitas	Kategori
Tampilan Visual	0,902	Layak Digunakan
Keterpakaian (<i>Usability</i>)	0,915	Layak Digunakan
Navigasi	0,894	Layak Digunakan
Kemudahan Akses dan Penggunaan	0,908	Layak Digunakan

Berdasarkan Tabel 22, seluruh aspek validitas media memperoleh indeks validitas di atas 0,85, yang menunjukkan bahwa media pembelajaran digital berbasis LMS berada pada kategori layak digunakan. Hal ini mengindikasikan bahwa media telah memiliki tampilan visual yang mendukung keterbacaan dan kenyamanan pengguna, struktur navigasi yang cukup jelas, tingkat keterpakaian yang baik, serta kemudahan akses bagi dosen dan mahasiswa. Meskipun demikian, kedua validator media tetap memberikan beberapa saran penyempurnaan yang bersifat minor untuk meningkatkan kualitas media sebelum digunakan pada tahap uji coba pembelajaran.

Tabel 25. Rekapitulasi Saran Perbaikan Validator Media dan Hasil Revisi

Validator	Aspek	Saran Perbaikan	Hasil Revisi
1	Tampilan Visual	Secara umum tampilan sudah baik, namun konsistensi warna dan ukuran huruf antarhalaman perlu ditingkatkan agar lebih seragam.	Skema warna dan tipografi diseragamkan pada seluruh halaman dan aktivitas pembelajaran di LMS.
	Keterpakaian (<i>Usability</i>)	Alur penggunaan LMS sudah jelas, tetapi perlu penambahan petunjuk singkat pada beberapa aktivitas utama.	Panduan singkat dan instruksi penggunaan ditambahkan pada setiap aktivitas pembelajaran.
	Navigasi	Struktur navigasi sudah fungsional, namun beberapa menu dapat	Menu navigasi disederhanakan dan ditambahkan tautan

		disederhanakan untuk mengurangi jumlah klik.	langsung ke aktivitas inti.
	Kemudahan Akses dan Penggunaan	Media sudah mudah diakses, namun optimalisasi tampilan pada perangkat mobile perlu diperhatikan.	Tampilan LMS dioptimalkan agar responsif pada perangkat desktop dan mobile.
2	Tampilan Visual	Tampilan visual dinilai menarik dan komunikatif; tidak diperlukan perubahan substansial.	Tidak dilakukan perubahan substansial, hanya penyesuaian minor pada tata letak.
	Keterpakaian (<i>Usability</i>)	Media mudah digunakan oleh pengguna, namun konsistensi ikon dan tombol perlu diperjelas.	Ikon dan tombol diseragamkan untuk meningkatkan kemudahan penggunaan.
	Navigasi	Navigasi sudah jelas dan logis, tetapi penamaan beberapa menu perlu dibuat lebih eksplisit.	Penamaan menu diperjelas agar lebih intuitif bagi pengguna.
	Kemudahan Akses dan Penggunaan	Media dapat diakses dengan baik, namun waktu pemuatan pada beberapa konten multimedia perlu dioptimalkan.	Ukuran file multimedia dioptimalkan untuk mempercepat waktu pemuatan.

c. Hasil Validasi RPS dan LKM

Validasi terhadap Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat pembelajaran yang dikembangkan selaras dengan sintaks Model ARICT serta layak digunakan dalam pembelajaran matematika di pendidikan tinggi. Proses validasi difokuskan pada kesesuaian perangkat dengan tujuan pembelajaran, keterpaduan sintaks ARICT, kejelasan aktivitas pembelajaran, serta dukungannya terhadap pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Penilaian dilakukan oleh validator materi dengan memperhatikan aspek konstruk, isi, dan kebahasaan perangkat pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa kevalidan model juga diperkuat melalui perangkat implementatifnya.

Hasil uji validitas RPS menunjukkan bahwa perangkat ini telah memenuhi kriteria kelayakan dengan tingkat validitas yang tinggi pada seluruh aspek penilaian. Penilaian mencakup kejelasan identitas mata kuliah, kesesuaian tujuan pembelajaran, keterpaduan sintaks ARICT, relevansi materi dengan konteks

pembelajaran, serta kesesuaian sumber belajar, media, dan sistem penilaian. Rekapitulasi hasil uji validitas RPS disajikan pada Tabel 26.

Tabel 26. Hasil Uji Validasi RPS

Aspek Penilaian	Indeks Validitas	Kategori
Identitas RPS	0,96	Layak Digunakan
Kelayakan Tujuan Pembelajaran	0,94	Layak Digunakan
Kesesuaian Alokasi Waktu	0,92	Layak Digunakan
Keterpaduan Sintaks ARICT	0,96	Layak Digunakan
Relevansi Materi dengan Konteks	0,98	Layak Digunakan
Kesesuaian Sumber Belajar dan Media	0,96	Layak Digunakan
Kesesuaian dengan Penilaian	0,98	Layak Digunakan
Kebahasaan	0,98	Layak Digunakan

Berdasarkan Tabel 26, RPS memperoleh rata-rata indeks validitas sebesar 0,95, yang menunjukkan bahwa RPS berada pada kategori layak digunakan. Nilai ini menunjukkan bahwa perencanaan pembelajaran telah sangat selaras dengan karakteristik model ARICT. Meskipun demikian, validator memberikan beberapa saran penyempurnaan, terutama terkait kejelasan alur sintaks ARICT, pemanfaatan sumber belajar digital secara lebih optimal, serta fleksibilitas pengelolaan waktu pembelajaran. Saran-saran tersebut digunakan sebagai dasar untuk merevisi RPS agar lebih mudah diimplementasikan dan mendukung proses berpikir mahasiswa secara progresif. Rekapitulasi saran perbaikan dan hasil revisi RPS disajikan pada Tabel 27.

Tabel 27. Rekapitulasi Saran Perbaikan Validator pada RPS

Aspek	Saran Validator	Hasil Revisi
Konstruk	Alur sintaks ARICT perlu diperjelas agar mudah diikuti dosen	Hubungan tiap sintaks ARICT dengan tahapan pembelajaran diperinci
	Refleksi akhir perlu lebih terstruktur	Tahap <i>Transfer and Reflect</i> diperjelas dengan indikator aktivitas
Isi	Aktivitas mahasiswa perlu lebih mendukung <i>Computational Thinking</i>	Aktivitas disesuaikan dengan indikator CT
	Konteks masalah perlu lebih relevan dengan Aljabar Linear	Konteks vektor dalam situasi nyata ditambahkan
Bahasa	Kalimat tujuan pembelajaran terlalu panjang	Kalimat dipadatkan dan diperjelas
	Istilah teknis perlu konsisten	Istilah distandarkan di seluruh dokumen

Selain RPS, validasi juga dilakukan terhadap LKM untuk memastikan bahwa aktivitas pembelajaran yang dirancang mampu memfasilitasi mahasiswa dalam menjalani setiap tahapan sintaks ARICT secara sistematis dan bermakna. Penilaian LKM difokuskan pada keterpaduan struktur kegiatan, kejelasan skenario pembelajaran, kesesuaian aktivitas dengan sintaks ARICT, serta dukungannya terhadap pengembangan kemampuan berpikir komputasional. Rekapitulasi hasil uji validitas LKM disajikan pada Tabel 28.

Tabel 28 Hasil Rekapitulasi Uji LKM

Aspek Validasi	Indeks Validitas	Kategori
Konstruk	0,926	Layak Digunakan
Konten (Isi)	0,940	Layak Digunakan
Bahasa	0,920	Layak Digunakan

Berdasarkan Tabel 28, LKM memperoleh rata-rata indeks validitas sebesar 0,928, yang menunjukkan bahwa LKM berada pada kategori layak digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa LKM telah mampu mengoperasionalkan sintaks ARICT ke dalam aktivitas pembelajaran yang mendukung *Computational Thinking*. Meskipun demikian, beberapa saran perbaikan diberikan untuk meningkatkan kejelasan instruksi dan keterpaduan aktivitas pembelajaran. Rekapitulasi saran perbaikan dan hasil revisi LKM disajikan pada Tabel 29.

Tabel 29. Rekapitulasi Saran Perbaikan dan hasil revisi LKM

No	Aspek	Saran Validator	Hasil Revisi
1	Struktur LKM	Struktur kegiatan perlu lebih sistematis	Urutan kegiatan disesuaikan dengan sintaks ARICT
2	Kesesuaian Sintaks	Keterkaitan aktivitas dengan sintaks perlu diperjelas	Label sintaks ditambahkan pada setiap bagian
3	Skenario Pembelajaran	Konteks masalah perlu lebih konkret	Contoh kontekstual vektor ditambahkan
4	Aktivitas Mahasiswa	Instruksi kerja perlu lebih operasional	Langkah kerja diperinci
5	<i>Computational Thinking</i>	Indikator CT belum eksplisit	Indikator dekomposisi, abstraksi, dan algoritmik ditambahkan

d. Hasil Validasi Instrumen

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini telah melalui proses validasi oleh para ahli untuk memastikan kelayakan dan ketepatannya dalam mengukur variabel penelitian, khususnya keterampilan *Computational Thinking* mahasiswa.

Instrumen yang divalidasi meliputi instrumen tes *Computational Thinking*, lembar observasi keterlaksanaan model ARICT, serta angket respons mahasiswa dan dosen terhadap implementasi model pembelajaran. Proses validasi bertujuan untuk memastikan bahwa setiap instrumen mampu mengukur aspek yang relevan dengan model pembelajaran ARICT serta menghasilkan data yang valid dan dapat diandalkan. Kevalidan instrumen menjadi dasar penting dalam menjamin keakuratan hasil penelitian pada tahap berikutnya.

Pada instrumen tes *Computational Thinking*, validasi difokuskan pada kesesuaian butir soal dalam mengukur komponen utama *Computational Thinking*, yaitu dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, dan perancangan algoritma. Sebelum diujicobakan, instrumen ini ditelaah oleh para ahli untuk memastikan ketepatan konsep, kejelasan perintah, serta kesesuaian konteks soal dengan karakteristik pembelajaran matematika, khususnya pada materi yang dikaji. Selain itu, lembar observasi keterlaksanaan model divalidasi untuk menilai sejauh mana sintaks model ARICT dapat diterapkan secara konsisten dalam pembelajaran, termasuk bagaimana dosen memfasilitasi aktivasi konteks, pengembangan ide, penstrukturan konsep, konstruksi solusi, serta proses transfer dan refleksi. Lembar observasi ini menjadi instrumen penting untuk menggambarkan keterlaksanaan model secara nyata di kelas.

Angket respons mahasiswa dan dosen juga divalidasi untuk memastikan bahwa setiap pernyataan mampu merepresentasikan pengalaman pengguna dalam menerapkan model ARICT, terutama terkait kepraktisan, kemudahan implementasi, serta kontribusi model dalam mendukung pengembangan *Computational Thinking*. Validasi instrumen mencakup aspek konstruk, konten, dan bahasa, sehingga instrumen yang digunakan benar-benar layak secara akademik dan operasional. Rekapitulasi hasil validitas instrumen penelitian disajikan pada Tabel 30 berikut.

Tabel 30. Rekap Hasil Validitas Instrumen Penelitian

Aspek Validasi	Validitas Indeks	Hasil	Kategori
Observasi Keterlaksanaan Model			
Konstruk	0,912	Valid	Layak digunakan
Konten	0,928	Valid	Layak digunakan

Bahasa	0,925	Valid	Layak digunakan
Angket Respon Dosen			
Konstruk	0,923	Valid	Layak digunakan
Konten	0,941	Valid	Layak digunakan
Bahasa	0,919	Valid	Layak digunakan
Angket Respon Mahasiswa			
Konstruk	0,919	Valid	Layak digunakan
Konten	0,921	Valid	Layak digunakan
Bahasa	0,934	Valid	Layak digunakan
Instrumen Tes <i>Computational Thinking</i>			
Konstruk	0,901	Valid	Layak digunakan
Konten	0,943	Valid	Layak digunakan
Bahasa	0,949	Valid	Layak digunakan

Berdasarkan hasil validasi instrumen observasi keterlaksanaan model ARICT, para validator memberikan sejumlah masukan terhadap beberapa indikator yang dinilai masih perlu disempurnakan. Masukan tersebut terutama berkaitan dengan kejelasan peran dosen dalam memfasilitasi pembelajaran berbasis LMS, ketepatan aktivitas mahasiswa pada setiap sintaks ARICT, serta penguatan keterkaitan indikator observasi dengan pengembangan *Computational Thinking*. Perbaikan yang diberikan bersifat penyempurnaan redaksional dan operasional, agar indikator observasi lebih eksplisit, mudah dipahami, dan dapat digunakan secara konsisten oleh observer dalam mengamati keterlaksanaan pembelajaran di kelas. Rekapitulasi saran perbaikan indikator beserta hasil revisinya disajikan pada Tabel 31 berikut.

Tabel 31. Rekapitulasi Perbaikan Instrumen Keterlaksanaan Model

Aspek Observasi	Nomor Indikator	Indikator Awal	Indikator Perbaikan
<i>Activate Context</i>	1.1	Dosen memilih dan menyiapkan bahan ajar digital yang relevan dengan materi pembelajaran melalui LMS.	Dosen memilih dan menyajikan materi pembelajaran digital melalui LMS yang relevan dengan konteks pembelajaran serta dapat diakses dan dipahami oleh mahasiswa.

Aspek Observasi	Nomor Indikator	Indikator Awal	Indikator Perbaikan
	1.3	Dosen memfasilitasi mahasiswa dalam menghubungkan materi dengan pengalaman sebelumnya melalui diskusi reflektif awal.	Dosen membantu mahasiswa mengaitkan materi dengan pengetahuan awal melalui diskusi reflektif yang dipandu oleh pertanyaan pemantik berbasis masalah.
	1.5	Dosen menyampaikan tujuan pembelajaran dengan jelas dan menarik perhatian mahasiswa.	Dosen menyampaikan tujuan pembelajaran secara jelas, ringkas, dan kontekstual serta mengaitkannya dengan permasalahan nyata yang akan dipelajari.
	1.6	Dosen memperkenalkan masalah yang akan dipelajari melalui bahan ajar digital.	Dosen menyajikan masalah kontekstual yang relevan dengan kehidupan mahasiswa melalui LMS sebagai titik awal pembelajaran.
<i>Respond with Ideas</i>	2.1	Dosen meminta mahasiswa mengakses materi pembelajaran di LMS.	Dosen membimbing mahasiswa memanfaatkan materi dan aktivitas di LMS untuk merespons permasalahan dan mengemukakan ide awal.
	2.3	Dosen memberikan penguatan materi melalui tanya jawab dan diskusi.	Dosen memfasilitasi diskusi interaktif untuk menanggapi ide awal mahasiswa dan memberikan klarifikasi konseptual.
<i>Interpret and Structure</i>	3.1	Dosen mengarahkan mahasiswa mengembangkan ide berdasarkan bahan ajar digital.	Dosen memandu mahasiswa menafsirkan informasi dari LMS, mengidentifikasi pola, serta menyusun struktur pemahaman konseptual secara sistematis.
<i>Construct Solutions</i>	4.1	Dosen mendukung mahasiswa dalam menyusun solusi berdasarkan materi yang telah dipelajari.	Dosen memfasilitasi mahasiswa dalam mengembangkan solusi melalui pemodelan matematis, representasi visual, atau langkah-langkah algoritmik.
<i>Transfer and Reflect</i>	5.2	Dosen membimbing refleksi pembelajaran dengan fokus berpikir kreatif dan kritis.	Dosen membimbing mahasiswa merefleksikan proses pembelajaran dan menerapkan <i>Computational</i>

Aspek Observasi	Nomor Indikator	Indikator Awal	Indikator Perbaikan
			<i>Thinking</i> pada konteks atau permasalahan baru.
Pengelolaan Waktu	6.1	Dosen mengelola waktu sesuai tahapan pembelajaran.	Dosen mengelola alokasi waktu secara fleksibel dan proporsional agar setiap sintaks ARICT terlaksana secara optimal.
Suasana Kelas	7.2	Antusiasme mahasiswa dalam memanfaatkan sumber belajar digital.	Antusiasme mahasiswa dalam mengakses, mengeksplorasi, dan memanfaatkan materi serta aktivitas pembelajaran melalui LMS, baik secara individu maupun kelompok.

Instrumen tes *Computational Thinking* yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu diuji validitas dan reliabilitasnya berdasarkan hasil tes mahasiswa untuk memastikan bahwa instrumen yang dikembangkan benar-benar relevan, akurat, dan konsisten dalam mengukur kemampuan yang dimaksud. Uji ini bertujuan untuk menjamin bahwa setiap butir soal mampu merepresentasikan konstruk *Computational Thinking* secara tepat, sehingga data yang dihasilkan dapat dipercaya sebagai dasar pengambilan keputusan dalam penelitian. Uji validitas dilakukan dengan menggunakan analisis korelasi Pearson antara skor setiap butir soal dengan skor total. Instrumen tes terdiri atas lima butir soal yang diberikan kepada 20 mahasiswa. Hasil uji validitas menunjukkan bahwa seluruh butir soal memiliki koefisien korelasi (r hitung) yang lebih besar daripada r tabel pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), yaitu sebesar 0,444. Dengan demikian, seluruh butir soal dinyatakan valid. Rekapitulasi hasil uji validitas instrumen tes *Computational Thinking* disajikan pada Tabel 32.

Tabel 32. Hasil Uji Validitas Instrumen Tes Computational Thinking

No.	Nomor Soal	r Hitung	r Tabel ($\alpha = 0,05$)	Keterangan
1	Soal 1	0,763	0,444	Korelasi Kuat
2	Soal 2	0,973	0,444	Korelasi Sangat Kuat
3	Soal 3	0,784	0,444	Korelasi Kuat
4	Soal 4	0,971	0,444	Korelasi Sangat Kuat
5	Soal 5	0,975	0,444	Korelasi Sangat Kuat

Selanjutnya, uji reliabilitas instrumen dilakukan untuk mengetahui tingkat konsistensi internal instrumen tes. Hasil uji reliabilitas menggunakan koefisien Cronbach's Alpha menunjukkan nilai sebesar 0,946 dengan jumlah butir soal

sebanyak 5 item. Nilai tersebut berada pada kategori reliabilitas sangat tinggi, yang mengindikasikan bahwa instrumen memiliki konsistensi internal yang sangat baik. Hasil uji reliabilitas disajikan pada Tabel 33 berikut.

Tabel 33. Uji Reliabilitas Instrumen Tes *Computational Thinking*

Reliability Statistics			
Cronbach's Alpha	N of Items	$r_{tabel}(5\%)$	Kesimpulan
0,946	5	0,444	Reliabel

Berdasarkan hasil uji validitas dan reliabilitas yang disajikan pada Tabel 32 dan Tabel 33, dapat disimpulkan bahwa instrumen tes *Computational Thinking* yang digunakan dalam penelitian ini valid dan reliabel, sehingga layak digunakan pada tahap penelitian selanjutnya. Instrumen ini diharapkan mampu menghasilkan data yang akurat dan konsisten dalam mengukur efektivitas model pembelajaran ARICT terhadap pengembangan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa.

3. Kepraktisan Model Pembelajaran

Kepraktisan Model ARICT dalam penelitian ini diperoleh melalui pelaksanaan uji coba terbatas setelah model dinyatakan valid oleh para ahli. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh gambaran empiris mengenai kemudahan implementasi model, kejelasan sintaks pembelajaran, serta tingkat keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran berbasis ARICT. Selain itu, uji coba ini juga digunakan untuk mengidentifikasi potensi kendala awal yang mungkin muncul dalam penerapan model sebelum dilakukan uji coba pada skala yang lebih luas. Uji coba terbatas menjadi tahap penting untuk memastikan bahwa sintaks ARICT, perangkat pembelajaran, serta dukungan *Learning Management System* (LMS) dapat diterapkan secara konsisten dan sesuai dengan karakteristik mahasiswa. Uji coba terbatas dalam penelitian ini dilaksanakan pada dua kelas perkuliahan, dengan melibatkan satu orang dosen pengampu dan satu orang observer pada setiap kelas, serta sembilan orang mahasiswa yang dipilih secara purposif berdasarkan variasi kemampuan *Computational Thinking* (CT), yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dengan demikian, total subjek uji coba terbatas melibatkan 18 mahasiswa, dua dosen, dan dua observer. Desain ini memungkinkan peneliti untuk mengamati implementasi model ARICT secara lebih mendalam pada kelompok kecil, sekaligus menilai konsistensi penerapan model pada lebih dari satu konteks kelas. Pelibatan mahasiswa dengan kemampuan CT yang beragam memberikan gambaran yang

lebih utuh mengenai keterjangkauan dan inklusivitas model, sementara keberadaan dosen dan observer pada setiap kelas menghasilkan umpan balik terkait kejelasan sintaks, alur pembelajaran, serta efektivitas integrasi *Learning Management System* (LMS) dalam mendukung proses berpikir mahasiswa.

Tabel 34. Rekapitulasi Hasil Uji coba Terbatas

Aspek	Dosen	Mahasiswa	Rata-Rata	Kategori
Kepraktisan	0,904	0,918	0,911	Praktis
Kemudahan	0,956	0,928	0,942	Mudah
Keterlibatan	0,908	0,960	0,934	Terlibat

Berdasarkan Tabel 34, hasil penilaian kepraktisan menunjukkan bahwa model ARICT berada pada kategori “praktis”, dengan skor rata-rata sebesar 0,910, yang diperoleh dari penilaian dosen dan mahasiswa. Aspek kemudahan implementasi memperoleh skor tertinggi (0,944), yang mengindikasikan bahwa sintaks ARICT, perangkat pembelajaran, serta pemanfaatan LMS dinilai mudah dipahami dan diterapkan dalam kegiatan perkuliahan. Hal ini menunjukkan bahwa alur pra-pembelajaran, kegiatan tatap muka, dan pasca-pembelajaran dalam model ARICT telah terintegrasi secara jelas dan operasional. Selain itu, aspek keterlibatan mahasiswa juga menunjukkan skor yang tinggi (0,936), yang menandakan bahwa model ARICT mampu mendorong partisipasi aktif mahasiswa selama proses pembelajaran. Mahasiswa dengan berbagai tingkat kemampuan *Computational Thinking* terlibat dalam diskusi, eksplorasi konsep, penyusunan solusi, serta refleksi pembelajaran.

4. Keefektifan Model Pembelajaran

Bagian ini menyajikan hasil pengujian keefektifan Model ARICT berbasis *Learning Management System* (LMS) dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa. Keefektifan model ditinjau melalui implementasi pembelajaran pada kelas eksperimen, respons pengguna dan keterlaksanaan sintaks model, serta analisis peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa berdasarkan hasil tes dan pengujian statistik.

a. Implementasi Model ARICT pada Uji Coba Lapangan

Uji coba lapangan dilaksanakan setelah model pembelajaran ARICT dan seluruh instrumen penelitian dinyatakan layak berdasarkan hasil validasi ahli dan uji coba terbatas. Tahap ini diarahkan untuk menilai kepraktisan dan efektivitas

implementasi model ARICT dalam konteks perkuliahan yang lebih utuh, sekaligus memperoleh gambaran empiris mengenai keterlaksanaan sintaks pembelajaran dan peran *Learning Management System* (LMS) dalam mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Uji coba lapangan dilaksanakan pada mahasiswa Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika Institut Bakti Nusantara (IBN) yang melibatkan empat kelas perkuliahan, yaitu kelas VEO A, VEO B, VEO C, dan VEO D. Kelas VEO A dan VEO C ditetapkan sebagai kelas eksperimen, sedangkan kelas VEO B dan VEO D sebagai kelas kontrol. Setiap kelas melibatkan satu orang dosen pengampu dan satu orang observer yang bertugas mengamati keterlaksanaan pembelajaran secara sistematis.

Pada kelas eksperimen, pembelajaran dilaksanakan menggunakan model pembelajaran ARICT yang dikembangkan dalam penelitian ini beserta seluruh perangkat pembelajaran yang mendukung implementasi model tersebut. Perangkat pembelajaran tersebut meliputi bahan ajar digital, aktivitas pembelajaran berbasis LMS, serta lembar kerja mahasiswa (LKM) yang dirancang sesuai dengan sintaks model ARICT. Dalam model ini, LKM tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu pembelajaran, tetapi merupakan bagian integral dari proses pembelajaran yang memfasilitasi aktivitas eksplorasi, diskusi, interpretasi konsep, serta konstruksi solusi yang selaras dengan tahapan *Activate-Respond-Interpret-Construct-Transfer*. Dengan demikian, penggunaan LKM pada kelas eksperimen merupakan bagian dari implementasi model pembelajaran yang dikembangkan. Sebaliknya, pada kelas kontrol pembelajaran dilaksanakan menggunakan pendekatan pembelajaran yang biasa diterapkan oleh dosen tanpa menggunakan model ARICT dan perangkat pembelajaran yang dikembangkan dalam penelitian ini. Kelas kontrol tetap mengikuti perkuliahan dengan materi yang sama, dosen pengampu yang sama, serta alokasi waktu pembelajaran yang setara, namun tanpa penerapan sintaks model dan perangkat pembelajaran ARICT, termasuk LKM yang dirancang khusus untuk mendukung pengembangan *Computational Thinking*. Perbedaan perlakuan ini dimaksudkan untuk membandingkan efektivitas model pembelajaran yang dikembangkan dengan pembelajaran yang selama ini digunakan dalam perkuliahan. Pembelajaran pada kedua kelompok dirancang dalam bentuk integrasi

aktivitas tatap muka dan aktivitas daring melalui LMS yang berfungsi sebagai sarana penyajian materi, pengelolaan tugas, diskusi daring, serta fasilitasi refleksi pembelajaran. Prosedur pengumpulan data meliputi tes awal dan tes akhir *Computational Thinking*, observasi keterlaksanaan model, serta angket respons mahasiswa dan dosen terhadap implementasi model ARICT berbasis LMS.

Model ARICT terdiri atas lima tahapan inti, yaitu *Activate Context*, *Respond with Ideas*, *Interpret and Structure*, *Construct Solutions*, serta *Transfer and Reflect*. Implementasi kelima tahapan ini dalam pembelajaran diuraikan sebagai berikut.

Tahap 1: *Activate Context*

Tahap *Activate Context* merupakan tahap awal dalam implementasi model pembelajaran ARICT yang bertujuan membangun kesiapan kognitif mahasiswa serta mengaitkan materi pembelajaran dengan konteks nyata yang relevan dengan bidang sistem informasi dan manajemen informatika. Pada tahap ini, dosen memfasilitasi mahasiswa untuk mengenali permasalahan kontekstual sebagai pintu masuk terhadap konsep yang akan dipelajari, sehingga pembelajaran tidak dimulai dari definisi abstrak, melainkan dari situasi nyata yang bermakna. Video pembelajaran, Materi awal dan mini kuis disajikan secara asinkron melalui *Learning Management System* (LMS) sebagai bagian dari kegiatan pra-pembelajaran untuk mendorong kesiapan awal sebelum diskusi tatap muka.

Aktivasi konteks pada kegiatan tatap muka dilakukan dengan memanfaatkan Google Maps sebagai media kontekstual awal. Dosen menampilkan peta digital yang menunjukkan beberapa lokasi yang familiar bagi mahasiswa, seperti rute perjalanan dari tempat tinggal menuju kampus atau perpindahan antar titik di lingkungan sekitar. Penyajian konteks ini bertujuan membantu mahasiswa mengaitkan pengalaman spasial yang telah mereka miliki dengan permasalahan matematis yang akan dipelajari. Pendekatan ini sejalan dengan teori belajar bermakna yang menekankan bahwa pembelajaran akan lebih efektif apabila informasi baru dihubungkan dengan struktur kognitif yang telah dimiliki oleh mahasiswa (Ausubel, 2012). Melalui konteks yang nyata dan familiar, mahasiswa tidak langsung dihadapkan pada simbol atau definisi formal, tetapi terlebih dahulu diarahkan untuk memahami makna konsep secara intuitif.

Dosen selanjutnya mengajukan pertanyaan pemantik yang bersifat eksploratif yang berfungsi untuk memicu proses berpikir awal mahasiswa tanpa membatasi cara mereka memaknai permasalahan, seperti:

“Jika seseorang berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain, informasi apa saja yang sebenarnya berubah?”

“Apakah rute perjalanan selalu menentukan hasil perpindahan?”, dan “Bagaimana arah perjalanan memengaruhi cara kita menggambarkan perpindahan tersebut?”

Mahasiswa kemudian berdiskusi dalam kelompok kecil untuk mengaitkan konteks yang ditampilkan pada Google Maps dengan pengalaman pribadi mereka. Beberapa mahasiswa menyampaikan bahwa meskipun rute perjalanan berbeda, posisi awal dan posisi akhir tetap sama. Mahasiswa lain menekankan pentingnya arah pergerakan dalam membedakan satu perpindahan dengan perpindahan lainnya. Respons ini menunjukkan bahwa mahasiswa mulai mengidentifikasi komponen-komponen esensial dari permasalahan, seperti titik awal, titik akhir, dan arah perpindahan.

Menanggapi pertanyaan tersebut, mahasiswa mulai berdiskusi dalam kelompok kecil dengan merujuk pada tampilan Google Maps yang menunjukkan beberapa contoh rute perjalanan. Dalam diskusi, muncul respons lisan mahasiswa yang beragam dan bersifat spontan, seperti:

“Kalau dari kos ke kampus, jalannya bisa beda-beda, tapi ujung-ujungnya tetap sampai di kampus.”

“Iya, meskipun muter jauh, titik awal dan titik akhirnya sama.”

“Menurut saya arah tetap penting, soalnya dari kos ke kampus beda arahnya kalau dari kampus ke kos.”

“Berarti bukan cuma jarak, tapi arah geraknya juga harus diperhatikan.”

Pernyataan-pernyataan tersebut menunjukkan bahwa mahasiswa mulai menyadari perbedaan antara lintasan perjalanan dan perpindahan, meskipun belum menggunakan istilah matematis secara formal. Melalui percakapan lisan tersebut, mahasiswa secara bertahap mengidentifikasi komponen-komponen penting dari permasalahan, seperti posisi awal, posisi akhir, dan arah perpindahan. Respons yang muncul mencerminkan bahwa mahasiswa tidak sekadar mengamati peta,

tetapi mulai memaknai pengalaman spasial mereka sebagai dasar untuk memahami konsep vektor yang akan dipelajari pada tahap selanjutnya. Interaksi sosial pada tahap ini terbentuk melalui diskusi kelompok dan diskusi kelas yang bersifat terbuka dan dialogis. Mahasiswa didorong untuk menyampaikan pendapat, mengajukan pertanyaan, serta menanggapi ide rekan lainnya. Proses ini mencerminkan prinsip konstruktivisme sosial yang memandang pengetahuan sebagai hasil konstruksi bersama melalui interaksi dan dialog (Vygotsky, 1978). Melalui pertukaran gagasan, mahasiswa mulai membangun pemahaman awal secara kolektif terhadap makna perpindahan dalam konteks spasial.

Peran dosen pada tahap *Activate Context* difokuskan sebagai fasilitator reflektif yang memberikan scaffolding melalui pertanyaan pengarah dan klarifikasi makna, tanpa memberikan prosedur matematis formal. Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa membangun pemahaman awal secara aktif dan kontekstual, sekaligus mempersiapkan landasan kognitif untuk tahap pembelajaran selanjutnya. Aktivasi konteks yang dilakukan pada tahap ini menjadi titik masuk penting bagi pengembangan kemampuan *Computational Thinking*, khususnya dalam mengenali komponen masalah dan pola awal sebelum memasuki proses penalaran yang lebih formal.



Gambar 12. Tahap *Activate Context* dalam Model Pembelajaran

Tahap 2: *Respond with Ideas*

Tahap *Respond with Ideas* diarahkan untuk memberi ruang kepada mahasiswa dalam mengekspresikan gagasan awal, hipotesis, dan penalaran awal mereka terhadap permasalahan yang telah diangkat pada tahap *Activate Context*. Setelah konteks perpindahan dan posisi ditampilkan melalui Google Maps, mahasiswa diminta untuk merespons permasalahan tersebut berdasarkan pemahaman awal yang mereka miliki, khususnya terkait konsep perpindahan, arah, dan representasi posisi dalam ruang. Pada tahap ini, fokus pembelajaran tidak diarahkan pada ketepatan jawaban, melainkan pada keberanian mahasiswa dalam mengemukakan ide dan cara berpikirnya secara terbuka.

Mahasiswa bekerja dalam kelompok kecil dan mendiskusikan pertanyaan-pertanyaan pemantik yang telah disediakan pada Lembar Kerja Mahasiswa melalui LMS, seperti bagaimana menentukan perpindahan jika rute yang ditempuh berbeda atau bagaimana arah perjalanan dapat direpresentasikan secara sistematis. Dalam diskusi, muncul berbagai respons awal mahasiswa yang bersifat intuitif dan kontekstual. Beberapa mahasiswa menyampaikan bahwa perpindahan hanya ditentukan oleh titik awal dan titik akhir, sementara mahasiswa lain menekankan bahwa arah pergerakan juga harus diperhatikan agar perpindahan dapat digambarkan dengan tepat. Respons-respons ini menunjukkan variasi cara pandang mahasiswa dalam memaknai permasalahan, yang menjadi bahan penting untuk pengembangan pemahaman pada tahap berikutnya.

Dosen berperan sebagai fasilitator reflektif dengan merespons ide-ide mahasiswa melalui pertanyaan pengarah dan klarifikasi konseptual ringan, tanpa langsung mengoreksi atau mengarahkan pada konsep formal. Pertanyaan seperti “Apakah dua perpindahan dengan titik awal dan akhir yang sama selalu identik?” atau “Bagaimana cara membedakan perpindahan jika arah gerakanya berbeda?” digunakan untuk memperluas cara berpikir mahasiswa dan mendorong mereka meninjau kembali argumen yang disampaikan. Interaksi ini membantu mahasiswa menyadari adanya kemungkinan lebih dari satu representasi atau pendekatan dalam memodelkan suatu perpindahan.

Sistem sosial pembelajaran pada tahap ini bersifat dialogis dan kolaboratif. Setiap mahasiswa diberi kesempatan untuk menyampaikan ide, menanggapi

pendapat teman, serta merevisi pemahamannya berdasarkan hasil diskusi kelompok. Reaksi mahasiswa tampak dari meningkatnya partisipasi aktif, munculnya perbedaan pendapat yang argumentatif, serta upaya saling menjelaskan gagasan secara sederhana. Proses ini sejalan dengan prinsip konstruktivisme sosial yang menekankan bahwa pemahaman dibangun melalui interaksi dan negosiasi makna antarindividu (Vygotsky, 1978). Secara teoretis, tahap *Respond with Ideas* berfungsi sebagai jembatan antara pengetahuan awal dan pembentukan konsep yang lebih terstruktur. Mahasiswa mulai menyadari keterbatasan pemahaman awalnya dan menunjukkan kesiapan untuk mengorganisasi ide-ide tersebut secara lebih sistematis. Kondisi ini mencerminkan terjadinya *cognitive readiness* yang penting dalam pembelajaran bermakna, di mana ide awal yang belum sepenuhnya tepat justru menjadi landasan bagi proses penguatan dan restrukturisasi pengetahuan pada tahap *Interpret and Structure* (Ausubel, 1968).



Gambar 13. Diskusi Mahasiswa pada Tahap *Respond with Ideas*
Tahap 3: *Interpret and Structure*

Tahap *Interpret and Structure* berfokus pada proses penataan, peninjauan ulang, dan pemaknaan kembali ide-ide awal yang telah dikemukakan mahasiswa pada tahap *Respond with Ideas*. Pada tahap ini, mahasiswa diarahkan untuk membangun struktur konseptual yang lebih sistematis terhadap permasalahan perpindahan dan representasi vektor, sekaligus merevisi pemahaman awal berdasarkan hasil diskusi dan eksplorasi lanjutan. Aktivitas pembelajaran dirancang untuk menggeser cara berpikir mahasiswa dari respons intuitif menuju pemahaman yang lebih terorganisasi, konsisten, dan logis. Untuk mendukung proses

penstrukturan ide tersebut, mahasiswa memanfaatkan GeoGebra sebagai alat bantu visualisasi dan pemodelan matematis. Melalui GeoGebra, mahasiswa merepresentasikan titik awal dan titik akhir perpindahan, menggambar vektor arah, serta membandingkan beberapa skenario perpindahan dengan lintasan yang berbeda namun posisi akhir yang sama. Aktivitas ini membantu mahasiswa menyadari bahwa meskipun rute perjalanan bervariasi, konsep perpindahan dapat dimodelkan secara konsisten melalui representasi vektor. Penelitian terkini menunjukkan bahwa penggunaan visualisasi dinamis berbasis perangkat lunak matematika secara signifikan membantu mahasiswa membangun struktur konseptual, meningkatkan kemampuan representasi, serta memperkuat pemahaman konsep abstrak seperti vektor dan koordinat (Park & Kwon, 2022; Trigueros & Martinez-Planell, 2021; Zengin, 2020)

Dosen memfasilitasi diskusi dengan pertanyaan pengarah yang mendorong mahasiswa meninjau dan menyusun kembali ide-ide sebelumnya, seperti “Apakah dua perpindahan dengan titik awal dan akhir yang sama selalu memiliki representasi vektor yang identik?” atau “Bagaimana arah vektor membantu kita membedakan perpindahan yang tampak serupa?”. Pertanyaan semacam ini mendorong mahasiswa untuk menguji asumsi awal, mengidentifikasi ketidaktepatan representasi, serta menyempurnakan model matematis yang mereka bangun. Studi internasional terbaru menegaskan bahwa pertanyaan reflektif berbasis representasi berperan penting dalam membantu mahasiswa melakukan reorganisasi pengetahuan dan berpindah dari pemahaman permukaan menuju pemahaman konseptual yang lebih dalam (Chin & Osborne, 2021; Lesh & Zawojewski, 2020).

Dalam diskusi kelompok, mahasiswa mulai menunjukkan refleksi kritis terhadap ide mereka sendiri. Beberapa mahasiswa menyampaikan bahwa sebelumnya mereka hanya memikirkan jarak tempuh, namun setelah menggunakan GeoGebra mereka menyadari bahwa arah dan orientasi vektor menjadi komponen utama dalam merepresentasikan perpindahan. Mahasiswa lain mengemukakan bahwa penggunaan sumbu koordinat membantu mereka “melihat” perpindahan secara lebih jelas dan tidak lagi bersifat abstrak. Respons-respons ini menunjukkan terjadinya restrukturisasi kognitif, yaitu proses penyusunan ulang pengetahuan awal menjadi struktur konseptual yang lebih koheren. Temuan ini sejalan dengan

penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan representasi visual dan multipel mampu meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam mengorganisasi ide matematis dan mengurangi miskonsepsi konseptual (Ainsworth & Prain, 2020; Rau et al., 2021).

Sistem sosial pembelajaran pada tahap ini berkembang dalam bentuk diskusi kolaboratif yang lebih terarah. Mahasiswa saling membandingkan hasil representasi vektor yang dibuat di GeoGebra, mendiskusikan perbedaan model, serta menyepakati representasi yang paling tepat secara matematis. Dosen menjaga iklim diskusi tetap dialogis dengan memberikan umpan balik klarifikatif dan penguatan konseptual tanpa mengambil alih proses berpikir mahasiswa. Penelitian terbaru menegaskan bahwa diskusi kolaboratif berbasis representasi visual efektif dalam mendukung sense-making dan pemahaman konseptual yang mendalam pada pembelajaran matematika dan sains di pendidikan tinggi (Jeong et al., 2023; Mercer et al., 2020).

Secara teoretis, tahap *Interpret and Structure* mendukung pembelajaran bermakna karena mahasiswa secara aktif mengaitkan informasi baru dengan struktur pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya. Pada saat yang sama, proses penataan dan revisi representasi yang dilakukan mahasiswa selaras dengan teori pemrosesan informasi modern, yang menekankan pentingnya monitoring, reorganisasi, dan penguatan representasi mental agar pengetahuan dapat digunakan secara fleksibel dalam pemecahan masalah lanjutan (Mayer, 2020b; Sweller et al., 2019). Aktivitas ini secara langsung melatih aspek *Computational Thinking*, khususnya kemampuan abstraksi, representasi, dan pengenalan pola, sebagai fondasi sebelum mahasiswa memasuki tahap *Construct Solutions*.



Gambar 14. Representasi Vektor dengan GeoGebra

Tahap 4: *Construct Solutions*

Tahap *Construct Solutions* merupakan fase implementatif dalam model ARICT, di mana mahasiswa diarahkan untuk menguji dan merealisasikan ide solusi yang telah disusun serta distrukturkan pada tahap *Interpret and Structure*. Pada tahap ini, fokus pembelajaran bergeser dari penataan konsep menuju penerapan konseptual secara sistematis melalui aktivitas pemodelan dan simulasi. Mahasiswa tidak lagi hanya mendiskusikan ide secara abstrak, tetapi mulai mengonstruksi solusi berbasis representasi matematis dan visual yang dapat diuji serta dievaluasi secara logis.

Aktivitas implementasi difasilitasi melalui pemanfaatan GeoGebra yang terintegrasi dengan *Learning Management System* (LMS). Mahasiswa bekerja dalam kelompok kecil untuk membangun model solusi berupa representasi vektor perpindahan dalam sistem koordinat. Melalui GeoGebra, mahasiswa menentukan titik awal dan titik akhir, menggambarkan arah vektor, serta menguraikan komponen vektor pada sumbu koordinat. Selama proses tersebut, mahasiswa melakukan pengujian dengan memodifikasi posisi dan arah vektor untuk melihat konsistensi solusi yang mereka bangun. Aktivitas ini membantu mahasiswa memverifikasi apakah model yang dibuat telah merepresentasikan konsep perpindahan secara tepat, terlepas dari variasi lintasan yang digunakan.

Dosen berperan sebagai fasilitator reflektif dengan memberikan arahan teknis seperlunya dan mengajukan pertanyaan pengarah yang mendorong mahasiswa melakukan evaluasi terhadap solusi yang dikembangkan. Pertanyaan seperti “Apakah representasi vektor yang kalian buat tetap konsisten ketika parameter diubah?” atau “Bagaimana model ini membantu membedakan antara lintasan dan perpindahan?” diarahkan untuk memastikan bahwa proses implementasi tetap berorientasi pada pemahaman konseptual, bukan sekadar penggunaan perangkat lunak. Melalui dialog ini, mahasiswa didorong untuk menilai keakuratan solusi dan mengaitkannya kembali dengan konsep matematis yang mendasari.



Gambar 15. Implementasi Solusi Vektor Menggunakan GeoGebra

Sistem sosial pembelajaran pada tahap ini berkembang dalam bentuk kerja kolaboratif yang terstruktur, di mana setiap mahasiswa berkontribusi dalam proses perancangan, pengujian, dan penyempurnaan solusi. Interaksi antarmahasiswa berlangsung dalam suasana diskusi yang berorientasi pada bukti visual dari hasil pemodelan GeoGebra. Prinsip reaksi mahasiswa tampak ketika hasil implementasi tidak sepenuhnya sesuai dengan dugaan awal. Beberapa mahasiswa menyadari bahwa solusi yang awalnya dianggap benar perlu direvisi setelah diuji melalui visualisasi, sehingga memunculkan refleksi seperti, “Ternyata arah vektor sangat memengaruhi representasi perpindahan, meskipun jaraknya sama.” Respons semacam ini menunjukkan terjadinya proses metakognitif, di mana mahasiswa secara sadar mengevaluasi dan merevisi cara berpikirnya berdasarkan hasil implementasi solusi.

Secara teoretis, tahap *Construct Solutions* sejalan dengan temuan penelitian internasional terbaru yang menekankan pentingnya aktivitas pemodelan dan simulasi digital dalam memperkuat pemahaman konseptual dan kemampuan pemecahan masalah. Penelitian oleh Scherer et al. (2020) serta Buchbinder and Zaslavsky (2022) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi visual-interaktif seperti GeoGebra membantu mahasiswa menguji solusi secara iteratif dan membangun struktur pemahaman yang lebih stabil. Selain itu, Weintrop et al. (2021) menegaskan bahwa tahap implementasi berbasis pemodelan berperan penting dalam pengembangan *Computational Thinking*, khususnya pada kemampuan evaluasi solusi, penalaran algoritmik, dan perbaikan kesalahan konseptual. Tahap ini tidak hanya memperkuat pemahaman matematis mahasiswa,

tetapi juga menyiapkan landasan berpikir sistematis sebelum memasuki tahap *Transfer and Reflect* dalam model ARICT.

Tahap 5: *Transfer and Reflect*

Tahap *Transfer and Reflect* merupakan fase penutup dalam siklus pembelajaran model ARICT yang berfungsi untuk memperkuat pemaknaan konsep dan mendorong mahasiswa mentransfer pemahaman yang telah dibangun ke dalam konteks baru. Pada tahap ini, pembelajaran diarahkan pada proses refleksi konseptual dan strategis, di mana mahasiswa meninjau kembali cara berpikir, representasi, dan solusi yang telah dikembangkan pada tahap sebelumnya. Fokus utama bukan pada penilaian hasil, melainkan pada internalisasi pemahaman dan perluasan penerapan konsep dalam situasi yang berbeda.

Dosen memfasilitasi proses refleksi melalui pertanyaan pemantik yang bersifat terbuka dan eksploratif, seperti bagaimana konsep perpindahan dan representasi vektor dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena lain di luar konteks yang dibahas, atau bagaimana strategi berpikir yang digunakan dapat diterapkan pada permasalahan baru. Pertanyaan-pertanyaan ini mendorong mahasiswa untuk menghubungkan pengalaman belajar yang telah dilalui dengan konteks yang lebih luas, sekaligus menyadari pola berpikir yang efektif dalam memecahkan masalah.

Mahasiswa kemudian merefleksikan pembelajaran secara individual dan kelompok dengan memanfaatkan LMS sebagai ruang refleksi dan diskusi lanjutan. Refleksi yang dilakukan menekankan pada pemahaman konsep yang diperoleh, perubahan cara pandang terhadap permasalahan, serta kemungkinan penerapan ide dan model yang telah dibangun ke dalam konteks lain. Diskusi kelompok memungkinkan mahasiswa saling berbagi pemaknaan, membandingkan sudut pandang, dan memperkaya pemahaman melalui pertukaran gagasan. Proses ini membantu mahasiswa melihat bahwa solusi yang dikembangkan tidak bersifat final, melainkan dapat terus disempurnakan dan ditransfer sesuai dengan kebutuhan konteks.

Sistem sosial pembelajaran pada tahap ini berkembang menjadi ruang dialog reflektif yang kolaboratif. Mahasiswa saling menanggapi pemikiran rekan lainnya dan membangun pemahaman bersama melalui negosiasi makna. Dosen berperan

menjaga iklim diskusi tetap terbuka dan suportif dengan memberikan penguatan konseptual serta klarifikasi seperlunya, tanpa mendominasi arah pemikiran mahasiswa. Interaksi ini memperkuat peran mahasiswa sebagai subjek pembelajaran yang aktif dan reflektif.

Secara teoretis, tahap *Transfer and Reflect* sejalan dengan temuan penelitian internasional yang menekankan pentingnya refleksi dan transfer pengetahuan dalam pembelajaran berbasis masalah dan berbasis teknologi. Hattie and Donoghue (2020) menegaskan bahwa refleksi terhadap strategi belajar merupakan kunci untuk mendorong transfer pembelajaran jangka panjang. Penelitian oleh Loyens et al. (2022) juga menunjukkan bahwa diskusi reflektif pada tahap akhir pembelajaran membantu mahasiswa membangun pemahaman konseptual yang lebih stabil dan dapat diterapkan lintas konteks. Dalam kerangka *Computational Thinking*, tahap ini memperkuat kemampuan mahasiswa untuk mengabstraksi konsep, mengevaluasi strategi, dan mentransfer pola pemecahan masalah ke situasi baru.



Gambar 16. Refleksi dan Transfer Pemahaman Mahasiswa

b. Respons Pengguna dan Keterlaksanaan Model

Selain ditinjau dari implementasi sintaksnya, keefektifan model ARICT juga dilihat dari respons pengguna dan keterlaksanaan model selama pembelajaran berlangsung. Penilaian ini penting untuk menunjukkan bahwa model tidak hanya dirancang dengan baik secara konseptual, tetapi juga dapat diterima dan dijalankan secara konsisten dalam konteks pembelajaran nyata.

Penilaian mahasiswa mencakup aspek kejelasan model, kemudahan mengikuti alur pembelajaran, keterlibatan dalam aktivitas berbasis masalah, serta

dukungan LMS dalam membantu proses berpikir dan refleksi. Rekapitulasi respons mahasiswa terhadap implementasi model ARICT berbasis LMS disajikan pada Tabel 35.

Tabel 35. Rekapitulasi Respon Mahasiswa

No	Aspek	Indeks Kepraktisan		Rerata
		VEO A	VEO C	
1	Keselarasn dengan Tujuan Pembelajaran	0,888	0,902	0,895
2	Kejelasan Sintaks Model ARICT	0,910	0,924	0,917
3	Keterbacaan dan Kejelasan Instruksi	0,902	0,914	0,908
4	Kemudahan Memahami Alur Pembelajaran	0,906	0,918	0,912
5	Keterlibatan dalam Diskusi dan Pemecahan Masalah	0,914	0,926	0,920
6	Dukungan LMS terhadap Aktivitas Belajar	0,900	0,916	0,908
7	Kemudahan Akses Materi dan Tugas melalui LMS	0,894	0,912	0,903
8	Kejelasan Bahasa dan Istilah	0,898	0,910	0,904
9	Kenyamanan Belajar dengan Model ARICT	0,906	0,920	0,913

Respons mahasiswa terhadap penerapan model ARICT berbasis LMS berada pada kategori sangat baik di seluruh aspek yang dinilai. Mahasiswa menilai bahwa alur sintaks model mudah dipahami, instruksi pembelajaran jelas, serta aktivitas yang dirancang mampu mendorong keterlibatan aktif dalam diskusi dan pemecahan masalah. Aspek yang berkaitan dengan dukungan LMS juga memperoleh penilaian positif, khususnya dalam kemudahan akses materi, pengelolaan tugas, dan keberlanjutan aktivitas belajar di luar kelas. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi LMS dalam model ARICT tidak hanya berfungsi sebagai media pendukung administratif, tetapi juga berperan sebagai bagian integral dari proses berpikir dan refleksi mahasiswa. Selain perspektif mahasiswa, efektivitas dan kepraktisan model ARICT juga ditinjau dari sudut pandang dosen sebagai pelaksana pembelajaran. Oleh karena itu, penilaian dosen terhadap implementasi model ARICT berbasis LMS disajikan pada Tabel 36.

Tabel 36. Rekapitulasi Respon Dosen

No	Aspek	Indeks Kepraktisan		Rerata
		VEO A	VEO C	
1	Keselarasn Model dengan Tujuan Pembelajaran	0,900	0,920	0,910
2	Kejelasan Alur Sintaks ARICT	0,918	0,936	0,927
3	Kemudahan Implementasi di Kelas	0,906	0,924	0,915
4	Dukungan LMS terhadap Pengelolaan Pembelajaran	0,910	0,930	0,920

5	Keterpaduan Aktivitas Tatap Muka dan Daring	0,902	0,928	0,915
6	Keterlibatan Mahasiswa selama Pembelajaran	0,914	0,938	0,926
7	Kejelasan Bahasa dan Instruksi Pembelajaran	0,906	0,924	0,915
8	Ketepatan Istilah dan Representasi Konsep	0,900	0,918	0,909
9	Kelayakan Model untuk Diterapkan Berkelanjutan	0,912	0,936	0,924

Hasil respons dosen yang disajikan pada Tabel 36 menunjukkan bahwa model ARICT dinilai mudah diimplementasikan dan memiliki alur sintaks yang jelas serta konsisten. Dosen menilai bahwa keterpaduan antara aktivitas tatap muka dan aktivitas daring melalui LMS membantu pengelolaan pembelajaran menjadi lebih sistematis, terutama dalam penyajian materi, pemantauan aktivitas mahasiswa, dan pelaksanaan refleksi pembelajaran. Aspek keterlibatan mahasiswa juga memperoleh skor tinggi, yang mengindikasikan bahwa model ARICT mampu mendorong partisipasi aktif mahasiswa dalam setiap tahapan pembelajaran. Penilaian positif terhadap kelayakan model untuk diterapkan secara berkelanjutan menunjukkan bahwa model ini tidak hanya sesuai untuk kebutuhan uji coba, tetapi juga berpotensi digunakan dalam pembelajaran reguler.

Observasi langsung terhadap keterlaksanaan setiap tahapan sintaks model ARICT juga dilakukan selama proses pembelajaran berlangsung sebagai penguatan terhadap data respons mahasiswa dan dosen. Hasil observasi keterlaksanaan model disajikan pada Tabel 37.

Tabel 37. Rekapitulasi Hasil Observasi

No	Tahap Kegiatan	Indeks		Rerata	Kategori
		VEO A	VEO C		
1	<i>Activate Context</i>	0,912	0,928	0,920	Sangat Baik
2	<i>Respond with Ideas</i>	0,900	0,920	0,910	Sangat Baik
3	<i>Interpret and Structure</i>	0,906	0,926	0,916	Sangat Baik
4	<i>Construct Solutions</i>	0,914	0,934	0,924	Sangat Baik
5	<i>Transfer and Reflect</i>	0,904	0,920	0,912	Sangat Baik
6	Pengelolaan Waktu	0,896	0,912	0,904	Baik
7	Pemanfaatan LMS dalam Pembelajaran	0,902	0,924	0,913	Sangat Baik
8	Pengamatan Suasana Kelas	0,918	0,936	0,927	Sangat Baik

Berdasarkan hasil observasi pada Tabel 37, seluruh tahapan sintaks model ARICT dapat dilaksanakan dengan baik pada kedua kelas uji coba. Tahapan

Interpret and Structure serta *Construct Solutions* menunjukkan keterlaksanaan yang stabil, mencerminkan bahwa mahasiswa mampu menata ide, mengembangkan representasi konseptual, dan merancang solusi secara sistematis. Pemanfaatan LMS juga teramati mendukung kelancaran pembelajaran, terutama dalam penyediaan materi, diskusi daring, serta dokumentasi hasil kerja mahasiswa. Meskipun aspek pengelolaan waktu berada pada kategori baik, hasil ini tetap menunjukkan bahwa dosen mampu mengelola alur pembelajaran secara fleksibel sesuai dinamika kelas. Secara keseluruhan, hasil observasi memperkuat temuan dari angket respons mahasiswa dan dosen bahwa model ARICT dapat diimplementasikan secara konsisten dan efektif dalam konteks perkuliahan berbasis LMS.

c. Pengujian Efektivitas Model Pembelajaran

1) Analisis Data Kemampuan Awal *Computational Thinking* mahasiswa

Data kemampuan awal *Computational Thinking* mahasiswa diperoleh dari hasil *pretest* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan pada keempat kelas, diperoleh data kemampuan awal *Computational Thinking* mahasiswa yang disajikan pada Tabel 38.

Tabel 38. Data Kemampuan Awal *Computational Thinking* Mahasiswa

Kelas	Banyak Siswa	Rata-Rata	Skor Terendah	Skor Tertinggi	Simpangan Baku
Eksperimen1	20	41,13	22,50	60	11,25
Eksperimen2	21	40,24	20,00	55	8,40
Kontrol 1	20	41,13	30,00	55	7,32
Kontrol2	19	41,84	32,50	65	8,03

Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Berdasarkan Tabel 38, rata-rata kemampuan awal *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas eksperimen 1 sebesar 41,13 dan eksperimen 2 sebesar 40,24. Sementara itu, pada kelas kontrol 1 diperoleh rata-rata sebesar 41,13 dan kontrol 2 sebesar 41,84. Secara umum, rata-rata kemampuan awal pada kelompok kontrol sedikit lebih tinggi dibandingkan kelompok eksperimen, meskipun selisihnya relatif kecil dan tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok.

Dilihat dari skor terendah, kelas kontrol memiliki skor minimum yang lebih tinggi (30,00 dan 32,50) dibandingkan kelas eksperimen (22,50 dan 2,00). Hal ini menunjukkan bahwa pada kelompok eksperimen terdapat mahasiswa dengan

kemampuan awal yang lebih rendah dibandingkan kelompok kontrol. Untuk skor tertinggi, kelas kontrol 2 mencapai skor maksimum sebesar 65, yang lebih tinggi dibandingkan kelas eksperimen 1 (60) dan eksperimen 2 (55), sedangkan kontrol 1 memiliki skor tertinggi yang sama dengan eksperimen 2 yaitu 55.

Apabila dilihat dari simpangan baku, kelas eksperimen 1 memiliki simpangan baku terbesar (11,25), yang menunjukkan variasi kemampuan awal *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas tersebut lebih beragam dibandingkan kelas lainnya. Sementara itu, kelas kontrol 1 memiliki simpangan baku paling kecil (7,32), yang menunjukkan sebaran data yang lebih homogen. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa kemampuan awal *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol relatif sebanding sebelum penerapan model pembelajaran ARICT berbasis LMS, meskipun terdapat variasi tingkat penyebaran skor pada masing-masing kelas. Perhitungan selengkapnya mengenai statistik deskriptif data pretest dapat dilihat pada lampiran 17.

2) Analisis Data Kemampuan Akhir *Computational Thinking* mahasiswa

Data kemampuan akhir *Computational Thinking* mahasiswa diperoleh dari hasil *posttest* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol setelah seluruh rangkaian pembelajaran selesai dilaksanakan. Berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan pada keempat kelas, diperoleh data kemampuan akhir *Computational Thinking* mahasiswa yang disajikan pada Tabel 39.

Tabel 39. Data Kemampuan Akhir *Computational Thinking* mahasiswa

Kelas	Banyak Siswa	Rata-Rata	Skor Terendah	Skor Tertinggi	Simpangan Baku
Eksperimen1	20	82,25	62,25	95,00	8,35
Eksperimen2	21	81,42	60,00	97,50	9,37
Kontrol 1	20	69,25	55,00	85,00	8,70
Kontrol2	19	72,23	60,00	90,00	8,41

Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Berdasarkan Tabel 39, rata-rata kemampuan akhir *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas eksperimen 1 sebesar 82,25 dan eksperimen 2 sebesar 81,42. Sementara itu, pada kelas kontrol 1 diperoleh rata-rata sebesar 69,25 dan kontrol 2 sebesar 72,23. Secara umum, rata-rata skor *posttest* pada kelompok eksperimen

lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol. Selisih rata-rata antara eksperimen 1 dan kontrol 1 sebesar 13,00 poin, sedangkan antara eksperimen 2 dan kontrol 2 sebesar 9,19 poin. Perbedaan ini menunjukkan adanya peningkatan capaian akhir yang lebih besar pada kelas yang menerapkan model pembelajaran ARICT berbasis LMS.

Dilihat dari skor terendah, kelas eksperimen menunjukkan nilai minimum yang relatif lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, khususnya pada eksperimen 1 (62,25) dibandingkan kontrol 1 (55,00). Sementara itu, skor tertinggi pada kelas eksperimen juga lebih tinggi, yaitu 95,00 pada eksperimen 1 dan 97,50 pada eksperimen 2, dibandingkan dengan kontrol 1 (85,00) dan kontrol 2 (90,00). Hal ini menunjukkan bahwa capaian maksimum kemampuan Computational Thinking mahasiswa pada kelas eksperimen lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Apabila dilihat dari simpangan baku, variasi skor pada seluruh kelas relatif sebanding, berkisar antara 8,35 hingga 9,37 pada kelas eksperimen dan 8,41 hingga 8,70 pada kelas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan rata-rata capaian, tingkat penyebaran data pada masing-masing kelas relatif homogen. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 18.

Rerata skor *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas eksperimen yang menerapkan model pembelajaran ARICT serta kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan memberikan gambaran mengenai perubahan kemampuan mahasiswa sebelum dan sesudah pembelajaran. Rekapitulasi nilai pretest dan posttest pada masing-masing kelas disajikan pada Tabel 40.

Tabel 40. Rekapitulasi Nilai *Pretest* dan *Posttest*

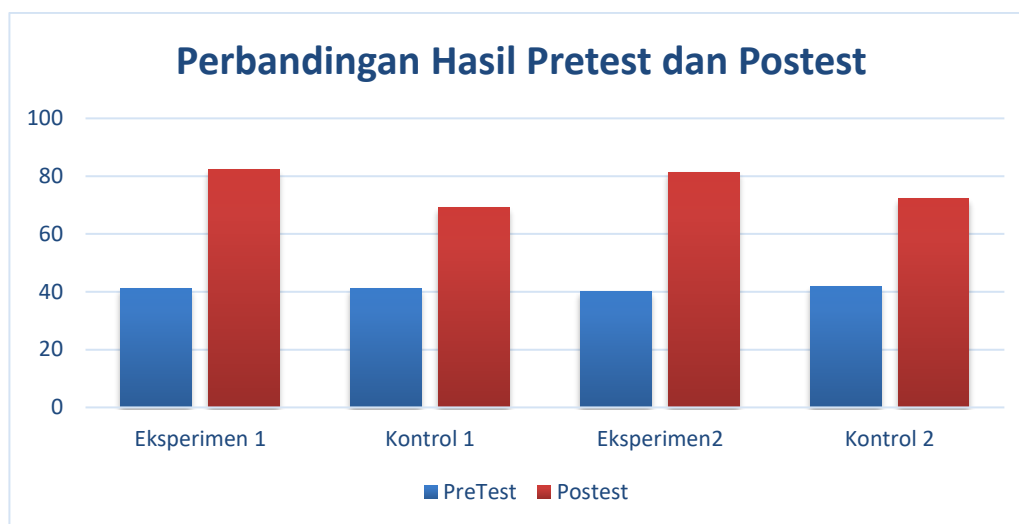
Sekolah	Rata – Rata Eksperimen		Rata – Rata Kontrol	
	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Dosen 1	41,13	82,25	41,11	69,25
Dosen 2	40,24	81,42	41,84	72,24

Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Data pada Tabel 40 menunjukkan bahwa pada kelas yang diampu oleh Dosen 1, rerata skor pretest kelas eksperimen sebesar 41,13 (kategori rendah) meningkat secara signifikan menjadi 82,25 (kategori tinggi) pada posttest.

Sementara itu, kelas pembanding hanya mengalami peningkatan dari 41,11(kategori rendah) menjadi 69,25 (kategori sedang). Pola yang serupa juga terlihat pada kelas yang diampu oleh Dosen 2, di mana rerata skor pretest kelas eksperimen meningkat dari 40,24 (kategori rendah) menjadi 81,42 (kategori tinggi) pada posttest, sedangkan kelas pembanding mengalami peningkatan yang lebih rendah, dari 41,87 (kategori rendah) menjadi 72,24 (kategori sedang).



Gambar 17. Data Perbandingan Hasil Pretest dan Posttest

Perbandingan hasil tersebut menunjukkan bahwa kelas eksperimen yang menerapkan model pembelajaran ARICT berbasis LMS mengalami peningkatan kemampuan *Computational Thinking* yang lebih besar dibandingkan dengan kelas yang menggunakan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan pada kedua dosen pengampu. Peningkatan yang konsisten pada kelas eksperimen mengindikasikan bahwa sintaks ARICT mampu mengarahkan mahasiswa pada proses berpikir yang lebih terstruktur, khususnya dalam mengidentifikasi komponen masalah, melakukan abstraksi, merepresentasikan perpindahan secara matematis, serta menyusun solusi secara logis dan sistematis. Sebaliknya, pembelajaran digital yang selama ini diterapkan cenderung berfokus pada penyampaian materi dan penyelesaian tugas, sehingga kontribusinya terhadap pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa masih relatif terbatas.

3) Analisa Data Hasil *N-Gain Computational Thinking*

Data *gain* merupakan data yang diperoleh berdasarkan hasil *pretest* dan *posttest* yang digunakan untuk melihat peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa setelah penerapan model pembelajaran ARICT berbasis LMS

pada kelas eksperimen dan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan pada kelas kontrol. Berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan pada keempat kelas, diperoleh data *gain* kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa yang disajikan pada Tabel 41.

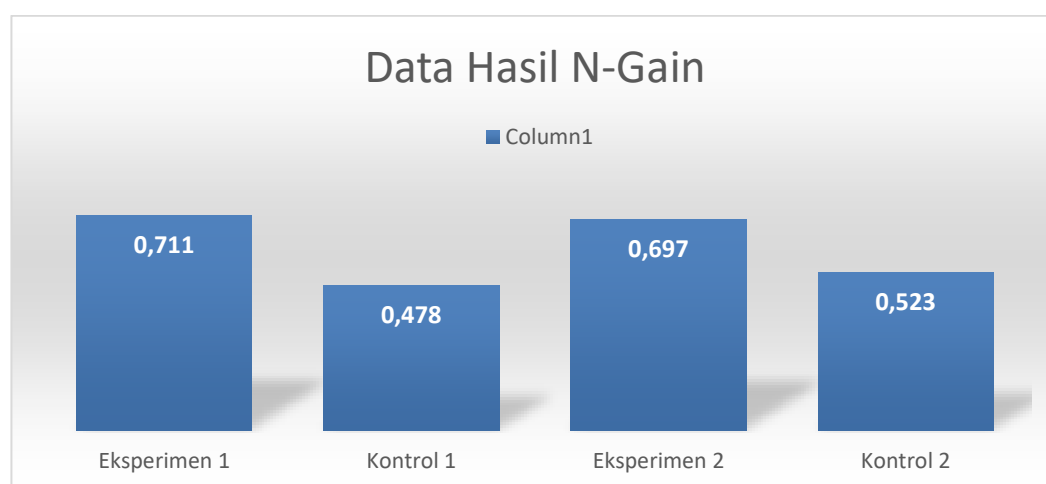
Tabel 41. Data Gain Kemampuan *Computational Thinking* Mahasiswa

Kelas	Banyak Siswa	Rata-Rata	Skor Terendah	Skor Tertinggi	Simpangan Baku
Eksperimen1	20	0,71	0,50	0,89	0,09
Eksperimen2	21	0,69	0,43	0,96	0,13
Kontrol 1	20	0,47	0,33	0,74	0,13
Kontrol2	19	0,52	0,25	0,83	0,13

Berdasarkan Tabel 41, rata-rata N-gain kemampuan *Computational Thinking mahasiswa* pada kelas eksperimen 1 sebesar 0,71 dan eksperimen 2 sebesar 0,69, yang termasuk dalam kategori tinggi. Sementara itu, pada kelas kontrol 1 diperoleh rata-rata sebesar 0,47 dan kontrol 2 sebesar 0,52, yang berada pada kategori sedang. Secara umum, rata-rata N-gain pada kelompok eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol. Dilihat dari skor terendah, kelas eksperimen menunjukkan nilai minimum yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, khususnya pada eksperimen 1 (0,50) dibandingkan kontrol 2 (0,25). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan terendah pada kelas eksperimen masih lebih baik dibandingkan peningkatan terendah pada kelas kontrol. Untuk skor tertinggi, kelas eksperimen juga menunjukkan capaian yang lebih tinggi, yaitu 0,89 pada eksperimen 1 dan 0,96 pada eksperimen 2, dibandingkan kontrol 1 (0,74) dan kontrol 2 (0,83).

Apabila dilihat dari simpangan baku, nilai simpangan baku pada kelas eksperimen relatif kecil (0,09 dan 0,13), yang menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas eksperimen lebih konsisten. Sementara itu, kelas kontrol memiliki simpangan baku sebesar 0,13 pada kedua kelas, yang menunjukkan variasi peningkatan yang relatif lebih beragam dibandingkan eksperimen 1. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 19.

Nilai N-gain yang diperoleh menunjukkan bahwa kelas eksperimen yang menerapkan model pembelajaran ARICT berbasis LMS mengalami peningkatan kemampuan *Computational Thinking* yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelas pembanding pada kedua dosen pengampu. Pada kelas yang diampu oleh Dosen 1, nilai N-gain kelas eksperimen sebesar 0,711 berada pada kategori tinggi, sedangkan kelas pembanding hanya mencapai 0,478 yang termasuk kategori sedang. Pola serupa juga terlihat pada kelas yang diampu oleh Dosen 2, di mana kelas eksperimen memperoleh nilai N-gain sebesar 0,697 berada pada kategori tinggi, sementara kelas pembanding menunjukkan peningkatan yang lebih rendah dengan nilai 0,523 yang termasuk kategori sedang.



Gambar 18. Data Hasil *N-Gain*

Perbedaan capaian N-gain tersebut mengindikasikan bahwa model pembelajaran ARICT berbasis LMS lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa dibandingkan dengan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan. Sintaks ARICT memberikan pengalaman belajar yang lebih terstruktur dan bermakna, terutama dalam melatih kemampuan dekomposisi masalah, abstraksi, representasi, serta penyusunan solusi secara logis dan sistematis. Variasi nilai N-gain antar kelas menunjukkan bahwa konteks pembelajaran dan karakteristik mahasiswa turut memengaruhi besarnya peningkatan, namun secara konsisten kelas eksperimen menunjukkan keunggulan peningkatan dibandingkan kelas pembanding.

4) Hasil Uji Hipotesis Penelitian

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil N-gain kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas eksperimen dan kelas pembanding berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas data dilakukan dengan menggunakan metode Lilliefors pada taraf signifikansi 5%. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada lampiran 19, diperoleh nilai signifikansi pada kelas eksperimen kelas kontrol sama yaitu sebesar 0,200. Nilai signifikansi pada masing-masing kelas lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa data N-gain pada seluruh kelas berdistribusi normal.

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah varians data N-gain pada kelas eksperimen dan kelas pembanding bersifat sama atau berbeda. Hasil uji homogenitas dapat dilihat pada lampiran 19, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,639, yang berarti nilai $\text{sig} > \alpha$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data N-gain pada kelas eksperimen dan kelas pembanding bersifat homogen.

Uji hipotesis N-gain dilakukan setelah melalui uji normalitas dan homogenitas dengan hasil bahwa data N-gain memenuhi asumsi untuk dianalisis lebih lanjut. Uji hipotesis dilakukan menggunakan uji ANOVA satu arah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa antara kelas eksperimen yang menerapkan model ARICT berbasis LMS dan kelas pembanding yang menggunakan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan. Hasil uji hipotesis menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,001, yang berarti $\text{sig} < \alpha$. Hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas pembanding.

Uji komparasi ganda dilakukan karena hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Analisis komparasi ganda dilakukan menggunakan metode Bonferroni untuk mengetahui kelompok mana yang memiliki peningkatan lebih tinggi. Hasil uji komparasi ganda menunjukkan bahwa kelas eksperimen1 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol1, dan kelas eksperimen2 juga lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol2. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan model ARICT berbasis LMS memberikan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* yang lebih besar dibandingkan pembelajaran digital biasa

yang selama ini diterapkan. Perhitungan selengkapnya terkait uji hipotesis dan uji komparasi ganda ini dapat dilihat pada Lampiran 19.

5) Data Amatan Peningkatan Kemampuan *Computational Thinking*

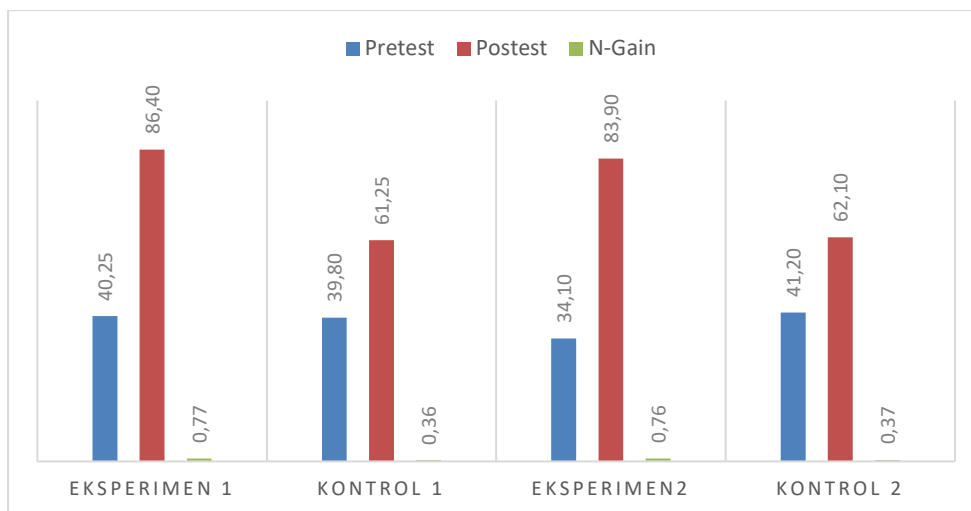
Analisis data amatan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa jika ditinjau dari masing-masing indikator. Dalam penelitian ini, *Computational Thinking* dipahami sebagai kemampuan berpikir sistematis yang mencakup dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, penyusunan solusi algoritmik, serta evaluasi solusi. Kelima indikator tersebut merupakan komponen penting dalam pengembangan pola pikir komputasional yang banyak digunakan dalam penelitian internasional karena merepresentasikan tahapan berpikir dari pemecahan masalah kompleks secara terstruktur (Schute et al., 2017; Wing, 2006).

Peningkatan kemampuan mahasiswa pada setiap aspek CT dianalisis menggunakan nilai N-gain untuk melihat perubahan dari kondisi awal (pretest) menuju kondisi akhir (posttest) pada kelas eksperimen yang menerapkan Model ARICT berbasis LMS dan kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran digital biasa. Interpretasi nilai N-gain mengacu pada klasifikasi (Hake, 1999), yaitu kategori tinggi ($g \geq 0.70$), sedang ($0.30 \leq g < 0.70$), dan rendah ($g < 0.30$). Penyajian hasil berikut dilengkapi dengan grafik agar pola peningkatan setiap aspek.

1. Aspek Dekomposisi Masalah

Dekomposisi masalah merupakan kemampuan awal dalam *Computational Thinking* yang menekankan pemecahan masalah kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana dan terkelola. Kemampuan ini menjadi fondasi utama dalam proses pemodelan matematis maupun penyelesaian masalah berbasis komputasi (Grover & Pea, 2013; Hsu et al., 2023b). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas eksperimen mengalami peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan kelas kontrol. Pada Eksperimen 1, nilai rata-rata meningkat dari 40,25 pada pretest menjadi 86,40 pada posttest, dengan N-gain sebesar 0,772 yang termasuk kategori tinggi. Sementara itu, pada Kontrol 1, peningkatan terjadi dari 39,80 menjadi 61,25, dengan N-gain sebesar 0,356 dalam kategori sedang. Pola serupa terlihat pada Eksperimen 2, di mana skor meningkat dari 34,10 menjadi 83,90,

menghasilkan N-gain sebesar 0,758 kategori tinggi. Sebaliknya, Kontrol 2 hanya meningkat dari 41,20 menjadi 62,10, dengan N-gain sebesar 0,372 kategori sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa Model ARICT lebih efektif melatih mahasiswa memecah masalah secara terstruktur melalui integrasi konteks RME dan tahapan mental APOS dalam pembelajaran digital. Untuk memperjelas peningkatan pada indikator ini, data pretest, posttest, dan N-gain disajikan dalam grafik berikut.

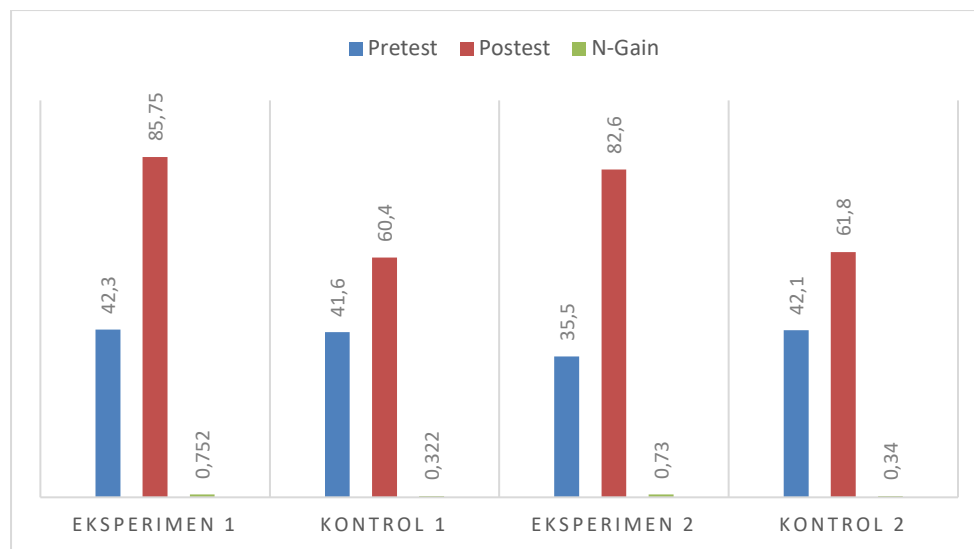


Gambar 19. Peningkatan Pada Aspek Dekomposisi Masalah

2. Indikator Pengenalan Pola

Pengenalan pola merupakan kemampuan untuk mengidentifikasi keteraturan dan hubungan matematis dari berbagai situasi masalah. Indikator ini sangat penting dalam membangun generalisasi dan strategi penyelesaian yang efisien (Brennan & Resnick, 2012; Schute et al., 2017). Pada Eksperimen 1, nilai pretest sebesar 42,30 meningkat menjadi 85,75 pada posttest, dengan N-gain 0,752 kategori tinggi. Sedangkan pada Kontrol 1, skor meningkat dari 41,60 menjadi 60,40, dengan N-gain sebesar 0,322 kategori sedang. Pada Eksperimen 2, nilai meningkat dari 35,50 menjadi 82,60, menghasilkan N-gain 0,730 kategori tinggi. Kelas Kontrol 2 meningkat dari 42,10 menjadi 61,80, dengan N-gain 0,340 kategori sedang. Temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi APOS–RME dalam Model ARICT membantu mahasiswa mengenali pola matematis melalui aktivitas reflektif dan representasi digital yang lebih kaya, sebagaimana ditekankan

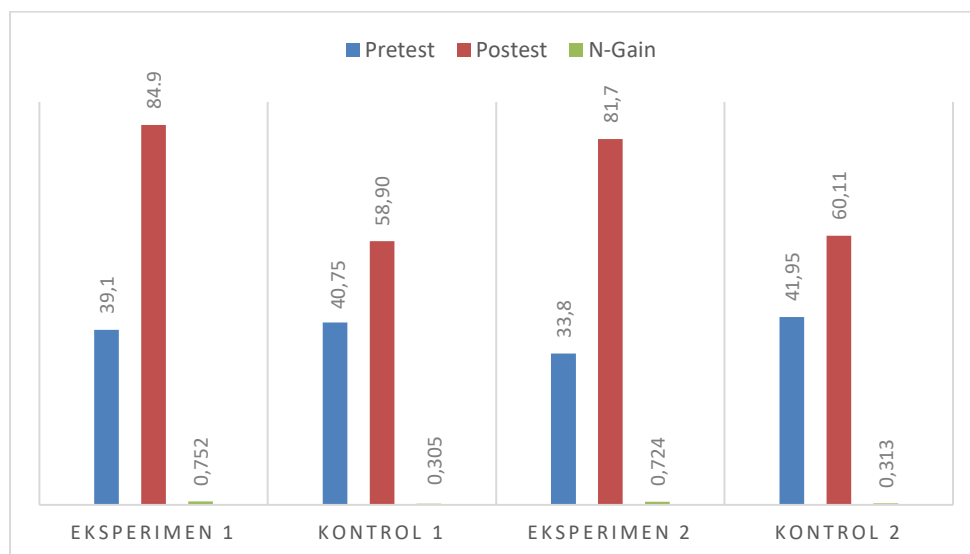
dalam studi Tikva & Tambouris (2022). Peningkatan pada indikator pengenalan pola ditunjukkan melalui grafik berikut.



Gambar 20. Peningkatan Pada Aspek Pengenalan Pola

3. Aspek Abstraksi

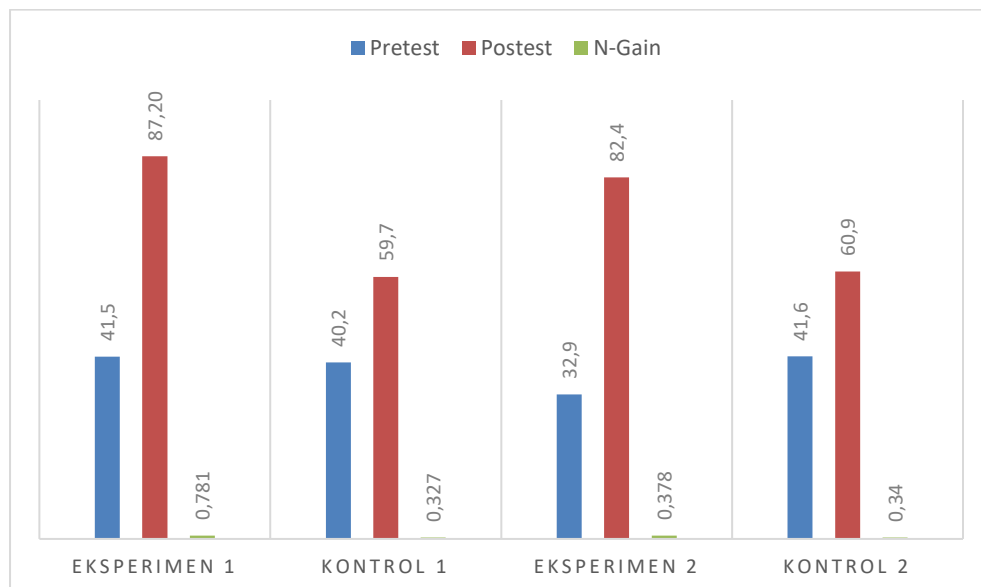
Abstraksi merupakan kemampuan untuk menyaring informasi penting, mengabaikan detail yang tidak relevan, serta membangun model konseptual dari suatu masalah. Indikator ini menjadi inti dalam proses berpikir matematis dan komputasional karena memungkinkan mahasiswa membangun representasi formal dari situasi nyata (Kong & Lai, 2022; Weintrop et al., 2021). Pada Eksperimen 1, skor meningkat dari 39,10 menjadi 84,90, dengan N-gain sebesar 0,752 kategori tinggi. Pada Kontrol 1, peningkatan hanya dari 40,75 menjadi 58,90, dengan N-gain sebesar 0,305 kategori sedang. Pada Eksperimen 2, skor meningkat dari 33,80 menjadi 81,70, menghasilkan N-gain 0,724 kategori tinggi. Sedangkan Kontrol 2 meningkat dari 41,95 menjadi 60,10, dengan N-gain sebesar 0,313 kategori sedang. Hal ini menunjukkan bahwa Model ARICT mampu memperkuat abstraksi melalui struktur APOS yang membangun pemahaman bertahap serta pendekatan RME yang mengaitkan konsep dengan situasi autentik. Grafik berikut menyajikan peningkatan kemampuan abstraksi mahasiswa.



Gambar 21. Peningkatan Pada Aspek Abstraksi

4. Aspek Penyusunan Solusi Algoritmik

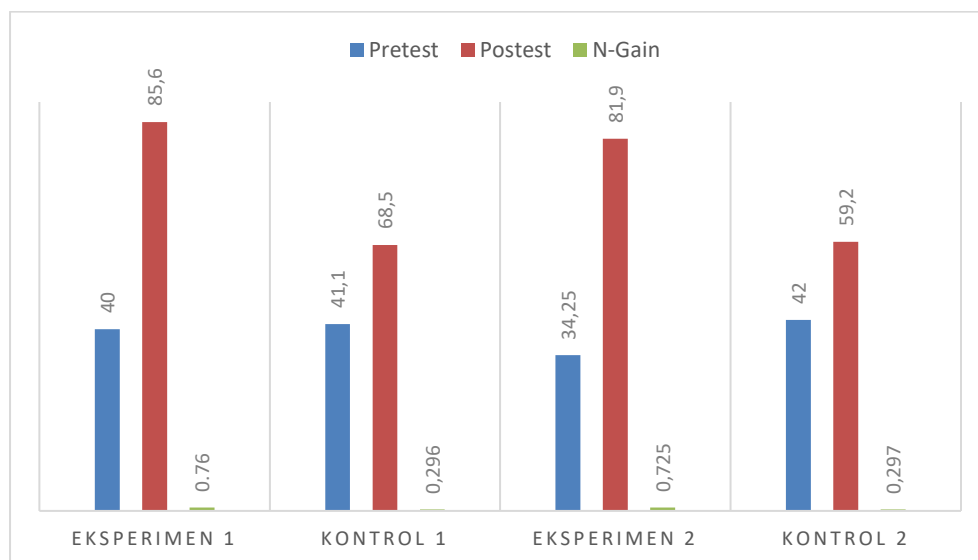
Penyusunan solusi algoritmik berkaitan dengan kemampuan mahasiswa merancang langkah penyelesaian masalah secara runtut, logis, dan sistematis. Indikator ini menegaskan bahwa *Computational Thinking* tidak hanya memahami konsep, tetapi juga menuntut prosedur pemecahan masalah yang terstruktur (Hsu et al., 2023b; Tang et al., 2021). Pada Eksperimen 1, nilai meningkat dari 41,50 menjadi 87,20, dengan N-gain sebesar 0,781 kategori tinggi. Sedangkan pada Kontrol 1, skor meningkat dari 40,20 menjadi 59,70, dengan N-gain sebesar 0,327 kategori sedang. Pada Eksperimen 2, nilai meningkat dari 32,90 menjadi 82,40, menghasilkan N-gain 0,738 kategori tinggi. Sedangkan Kontrol 2 meningkat dari 41,60 menjadi 60,90, dengan N-gain sebesar 0,334 kategori sedang. Temuan ini menegaskan bahwa sintaks ARICT mampu membiasakan mahasiswa menyusun solusi matematis secara sistematis melalui dukungan LMS dan visualisasi digital. Grafik berikut menunjukkan peningkatan aspek algoritmik.



Gambar 22. Peningkatan Pada Aspek Penyusunan Solusi Algoritmik

5. Aspek Evaluasi

Evaluasi merupakan kemampuan untuk memeriksa kembali ketepatan solusi, menilai efektivitas strategi, serta melakukan revisi secara reflektif. Dalam banyak kerangka CT modern, evaluasi dipandang sebagai bagian penting karena solusi komputasional selalu memerlukan validasi dan perbaikan berkelanjutan (Schute et al., 2017; Weintrop et al., 2016). Pada Eksperimen 1, skor meningkat dari 40,00 menjadi 85,60, dengan N-gain sebesar 0,760 kategori tinggi. Sementara itu, pada Kontrol 1, peningkatan terjadi dari 41,10 menjadi 58,50, dengan N-gain sebesar 0,296 kategori rendah. Pada Eksperimen 2, skor meningkat dari 34,25 menjadi 81,90, menghasilkan N-gain sebesar 0,725 kategori tinggi. Sedangkan Kontrol 2 meningkat dari 42,00 menjadi 59,20, dengan N-gain sebesar 0,297 kategori rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa mahasiswa dalam pembelajaran ARICT lebih terlatih untuk melakukan refleksi dan validasi solusi melalui tahapan Assess dan Transfer dalam sintaks ARICT berbasis LMS. Grafik berikut menyajikan peningkatan aspek evaluasi.



Gambar 23. Peningkatan Pada Aspek Evaluasi

6) Hasil Penilaian Kemajuan Belajar Setiap Pertemuan

1. Kemajuan Belajar Kemampuan *Computational Thinking*

Penilaian kemajuan belajar kemampuan *computational thinking* dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap pada setiap pertemuan pembelajaran. Penilaian ini bertujuan untuk melihat perkembangan kemampuan mahasiswa dalam memahami dan menyelesaikan permasalahan matematika, khususnya pada materi vektor dan ruang vektor, melalui penerapan pembelajaran yang berbeda pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kemampuan *computational thinking* yang diukur dalam penelitian ini mencakup lima aspek utama, yaitu dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, solusi algoritmik, dan evaluasi. Kelima aspek tersebut merepresentasikan proses berpikir sistematis yang diperlukan mahasiswa dalam memecahkan masalah kompleks, mulai dari memecah masalah menjadi bagian-bagian kecil, mengenali pola hubungan antar konsep, menyederhanakan informasi penting, menyusun langkah penyelesaian secara algoritmik, hingga melakukan evaluasi terhadap solusi yang diperoleh.

Pengukuran dilakukan pada enam pertemuan, dengan materi pembelajaran meliputi: (1) vektor dalam sistem koordinat, (2) operasi dan transformasi vektor, (3) operasi lanjutan berupa perkalian titik dan perkalian silang, (4) struktur dan sifat ruang vektor, (5) dimensi dan basis ruang vektor, serta (6) eigenvektor dan transformasi linear. Setiap pertemuan memberikan gambaran perkembangan kemampuan mahasiswa secara progresif seiring meningkatnya kompleksitas

materi. Hasil penilaian kemajuan belajar pada masing-masing aspek *computational thinking* disajikan dalam bentuk nilai rata-rata pada empat kelompok kelas, yaitu kelas eksperimen 1, kelas kontrol 1, kelas eksperimen 2, dan kelas kontrol 2. Penyajian data ini bertujuan untuk memperlihatkan perbandingan capaian kemampuan mahasiswa antara kelas yang mendapatkan perlakuan pembelajaran inovatif dengan kelas yang mengikuti pembelajaran konvensional. Adapun hasil lengkap nilai rata-rata kemampuan *computational thinking* pada setiap aspek dan setiap pertemuan disajikan pada Tabel 42 sampai dengan Tabel 46 berikut.

Tabel 42. Nilai Rata-Rata *Computational Thinking* Aspek Dekomposisi

Kelas	Vektor dalam Sistem Koordinat	Operasi & Transformasi Vektor	Perkalian Titik & Silang	Struktur Ruang Vektor	Dimensi & Basis	Eigenvektor & Transformasi Linear
Eksperimen 1	74,25	76,80	78,40	80,15	81,90	83,25
Kontrol 1	58,10	60,75	62,20	64,85	66,10	68,40
Eksperimen 2	73,50	75,95	77,85	79,60	81,20	82,70
Kontrol 2	56,40	58,90	60,50	62,10	64,60	66,85

Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Berdasarkan Tabel 42, kemampuan *computational thinking* pada aspek dekomposisi menunjukkan bahwa kelas eksperimen memperoleh nilai rata-rata lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol pada seluruh materi. Nilai tertinggi terdapat pada materi Eigenvektor dan Transformasi Linear di kelas eksperimen 1 dengan skor 83,25, sedangkan nilai terendah berada pada kelas kontrol 2 pada materi Vektor dalam Sistem Koordinat dengan skor 56,40. Hal ini mengindikasikan bahwa pembelajaran pada kelas eksperimen lebih membantu mahasiswa dalam memecah masalah kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana.

Tabel 43. Nilai Rata-Rata *Computational Thinking* Aspek Pengenalan Pola

Kelas	Vektor dalam Sistem Koordinat	Operasi & Transformasi Vektor	Perkalian Titik & Silang	Struktur Ruang Vektor	Dimensi & Basis	Eigenvektor & Transformasi Linear
Eksperimen 1	73,80	75,60	77,25	79,10	80,75	82,40
Kontrol 1	55,90	57,25	59,85	61,40	63,95	66,20
Eksperimen 2	72,95	74,85	76,70	78,55	80,10	81,95
Kontrol 2	54,20	56,75	58,20	60,80	62,30	64,65

Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Dilihat dari Tabel 43, kemampuan pengenalan pola pada kelas eksperimen lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Nilai tertinggi dicapai oleh kelas eksperimen

1 pada materi Eigenvektor dan Transformasi Linear dengan skor 82,40. Sebaliknya, nilai rata-rata terendah terdapat pada kelas kontrol 2 pada materi awal dengan skor 54,20. Temuan ini menunjukkan bahwa mahasiswa pada kelas eksperimen lebih mampu mengenali pola hubungan antar konsep dalam pembelajaran vektor.

Tabel 44. Nilai Rata-Rata *Computational Thinking* Aspek Abstraksi

Kelas	Vektor dalam Sistem Koordinat	Operasi & Transformasi Vektor	Perkalian Titik & Silang	Struktur Ruang Vektor	Dimensi & Basis	Eigenvektor & Transformasi Linear
Eksperimen 1	74,10	76,30	78,15	79,85	81,40	83,10
Kontrol 1	57,50	59,10	61,65	63,20	65,75	67,05
Eksperimen 2	73,25	75,80	77,40	79,20	80,95	82,60
Kontrol 2	55,85	57,40	59,10	61,75	63,20	65,50

Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Berdasarkan Tabel 44, aspek abstraksi pada kelas eksperimen menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol pada seluruh materi. Nilai tertinggi terdapat pada kelas eksperimen 1 pada materi Eigenvektor dan Transformasi Linear dengan skor 83,10. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa pada kelas eksperimen lebih mampu menyederhanakan permasalahan matematis dan memfokuskan perhatian pada konsep inti.

Tabel 45. Nilai Rata-Rata *Computational Thinking* Aspek Solusi Algoritmik

Kelas	Vektor dalam Sistem Koordinat	Operasi & Transformasi Vektor	Perkalian Titik & Silang	Struktur Ruang Vektor	Dimensi & Basis	Eigenvektor & Transformasi Linear
Eksperimen 1	72,85	74,95	76,80	78,60	80,25	81,90
Kontrol 1	53,75	55,40	57,10	59,85	62,20	64,60
Eksperimen 2	72,10	74,30	76,25	78,05	79,70	81,40
Kontrol 2	52,20	54,95	56,75	58,40	60,85	63,15

Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Tabel 45 menunjukkan bahwa kemampuan mahasiswa dalam menyusun solusi algoritmik lebih berkembang pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol. Nilai tertinggi dicapai pada materi Eigenvektor dan Transformasi Linear di kelas eksperimen 1 dengan skor 81,90, sedangkan nilai terendah terdapat pada kelas kontrol 2 pada materi awal dengan skor 52,20. Hal ini menegaskan bahwa kelas eksperimen lebih efektif dalam melatih mahasiswa menyusun langkah penyelesaian masalah secara sistematis.

Tabel 46. Nilai Rata-Rata *Computational Thinking* Aspek Evaluasi

Kelas	Vektor dalam Sistem Koordinat	Operasi & Transformasi Vektor	Perkalian Titik & Silang	Struktur Ruang Vektor	Dimensi & Basis	Eigen vektor & Transformasi Linear
Eksperimen1	73,40	75,25	77,10	78,95	80,60	82,15
Kontrol1	56,50	58,15	60,75	62,30	64,85	67,10
Eksperimen2	72,80	74,70	76,55	78,40	80,05	81,75
Kontrol2	54,95	56,60	59,20	61,85	63,40	65,55

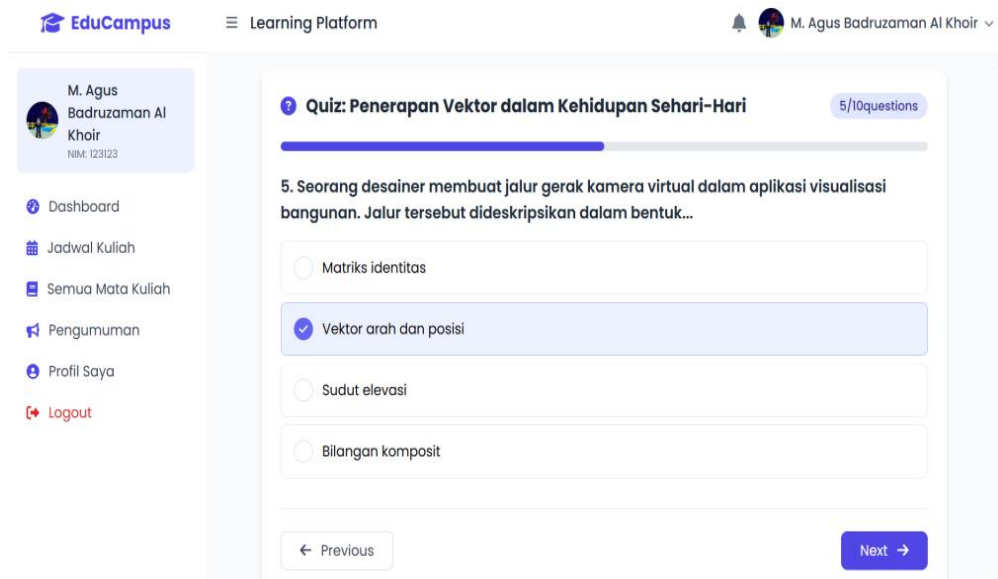
Keterangan:

Skor Maksimal: 100

Berdasarkan Tabel 46, kemampuan evaluasi mahasiswa pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol pada seluruh materi. Nilai tertinggi diperoleh kelas eksperimen 1 pada materi Eigenvektor dan Transformasi Linear dengan skor 82,15. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa pada kelas eksperimen lebih mampu menilai ketepatan solusi, memeriksa kembali proses penyelesaian, serta merefleksikan hasil yang diperoleh secara lebih baik.

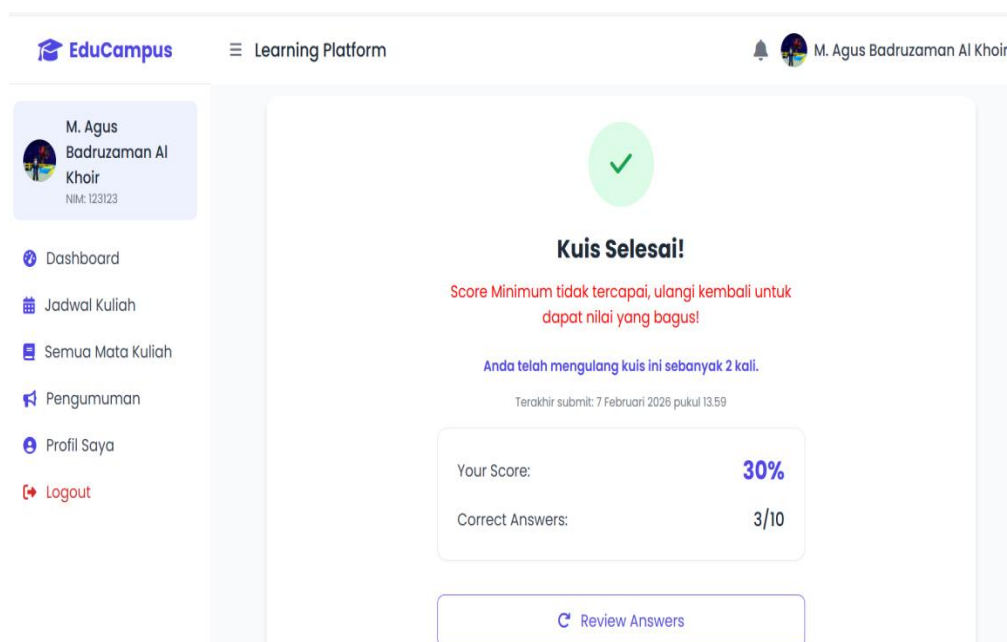
2. Kesiapan Belajar

Kesiapan belajar mahasiswa merupakan komponen penting dalam implementasi model pembelajaran ARICT, khususnya pada tahap pra-pembelajaran yang difokuskan pada aktivasi pengetahuan awal dan pembentukan kesiapan kognitif sebelum kegiatan tatap muka dimulai. Dalam model ARICT, pra-pembelajaran dirancang sebagai fase awal untuk mendorong mahasiswa mengeksplorasi konteks permasalahan, menyimak video pembelajaran, mempelajari materi digital, serta mengerjakan tugas kesiapan belajar yang difasilitasi melalui *Learning Management System* (LMS). Tampilan tugas kesiapan belajar pada LMS disajikan pada Gambar 24 berikut.



Gambar 24. Tampilan Tugas Kesiapan Belajar Mahasiswa pada LMS

Pada penelitian ini, tugas kesiapan diberikan pada setiap pertemuan sebagai bentuk evaluasi awal terhadap pemahaman mahasiswa. Mahasiswa dinyatakan tuntas apabila memperoleh nilai minimal 70. Apabila hasil tugas kesiapan masih berada di bawah batas tersebut, mahasiswa diwajibkan untuk mengulang pengerjaan hingga mencapai ketuntasan. Mekanisme ini diterapkan untuk memastikan bahwa mahasiswa memiliki dasar konseptual yang memadai sebelum memasuki tahap pembelajaran inti.



Gambar 25. Tampilan Perolehan Nilai Tugas Kesiapan Belajar Mahasiswa

Sebagai bagian dari implementasi pembelajaran berbasis LMS, seluruh aktivitas pra-pembelajaran mahasiswa, termasuk nilai quiz kesiapan serta jumlah percobaan atau pengulangan yang dilakukan, tercatat secara otomatis dalam sistem. Dosen dapat memantau perkembangan kesiapan belajar mahasiswa melalui laporan rekapitulasi yang disediakan LMS. Tampilan rekapan nilai dan pengulangan tugas kesiapan mahasiswa pada LMS disajikan pada Gambar 26 berikut.

MAHASISWA	NIM	KELAS	WAKTU CHECK-IN	STATUS VIDEO	NILAI QUIZ	PERCOBAAN
Faris Arfandi	25110033	-	07:11 AM	Video Diakses	55%	2x
AHMAD SYAFA ASSIDIQ VEO 1A	25110034	VEO 1A	07:26 AM	Video Diakses	20%	1x
NOVITA ANADIA SUSANTI VEO 1B	25110031	VEO 1B	06:40 AM	Video Diakses	65%	2x
BERLIANA DWI HASTIAN VEO 1A	25110009	VEO 1A	07:02 AM	Video Diakses	70%	3x
RANI AMELIA MARGARETA VEO 1A	25110018	VEO 1A	06:29 AM	Video Diakses	60%	3x
Meliana Febriyanti	25110028	-	03:23 AM	Video Diakses	40%	4x

Gambar 26. Rekapitulasi Tugas Kesiapan Mahasiswa pada LMS

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pertemuan awal mahasiswa masih memerlukan pengulangan cukup banyak, bahkan terdapat mahasiswa yang harus mengulang hingga lima sampai tujuh kali sebelum mencapai ketuntasan. Namun, seiring meningkatnya pengalaman belajar mandiri melalui video dan materi digital, jumlah pengulangan tersebut cenderung menurun secara bertahap dari pertemuan ke pertemuan. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan kesiapan belajar mahasiswa secara progresif dalam mengikuti pola pembelajaran ARICT berbasis LMS. Adapun rata-rata pengulangan tugas kesiapan belajar mahasiswa pada kelas eksperimen 1 dan eksperimen 2 untuk setiap materi disajikan pada tabel berikut.

Tabel 47. Pengulangan Tugas Kesiapan Belajar Setiap Pertemuan

Kelas	Vektor dalam Sistem Koordinat	Operasi & Transformasi Vektor	Perkalian Titik & Silang	Struktur Ruang Vektor	Dimensi & Basis	Eigenvektor & Transformasi Linear
Eksperimen1	4,60 kali	3,85 kali	3,10 kali	2,55 kali	2,05 kali	1,70 kali
Eksperimen2	4,90 kali	4,05 kali	3,25 kali	2,70 kali	2,20 kali	1,85 kali

Berdasarkan Tabel 47, rata-rata pengulangan tugas kesiapan belajar mahasiswa pada kedua kelas eksperimen menunjukkan penurunan yang konsisten dari pertemuan pertama hingga pertemuan keenam. Pada materi awal *Vektor dalam Sistem Koordinat*, mahasiswa rata-rata melakukan pengulangan lebih dari empat kali. Kondisi ini mencerminkan bahwa mahasiswa masih berada pada tahap adaptasi terhadap pola pra-pembelajaran berbasis video serta pengerjaan tugas kesiapan melalui LMS.

Pada pertemuan berikutnya, jumlah pengulangan mulai menurun secara bertahap. Penurunan ini menunjukkan bahwa mahasiswa semakin terbiasa mempersiapkan diri sebelum kegiatan tatap muka, sehingga pemahaman awal terhadap materi menjadi lebih baik dan kebutuhan untuk mengulang tugas kesiapan berkurang. Pada materi akhir *Eigenvektor dan Transformasi Linear*, rata-rata pengulangan berada pada kisaran satu hingga dua kali. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa telah mampu mencapai ketuntasan dalam percobaan awal atau hanya memerlukan sedikit pengulangan, sehingga kesiapan belajar mereka meningkat secara progresif dari materi awal hingga materi akhir.

B. Pembahasan

1. Karakteristik Model Pembelajaran ARICT

a. Tahapan ARICT sebagai Arsitektur Pedagogis Pembelajaran Digital Konstruktivistik

Pembelajaran dalam mata kuliah ini tidak dirancang sebagai rangkaian aktivitas yang bersifat prosedural, melainkan sebagai suatu arsitektur pedagogis yang terstruktur dan berlandaskan teori. Arsitektur tersebut diwujudkan melalui sintaks ARICT (*Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions, Transfer and Reflect*) yang diorganisasikan ke dalam tiga tahap utama, yaitu pra pembelajaran, pembelajaran inti, dan pasca pembelajaran. Pembagian ini memiliki justifikasi pedagogis yang kuat karena setiap tahap berfungsi sebagai fondasi bagi tahap berikutnya. Struktur tersebut memastikan bahwa proses belajar berlangsung secara progresif, reflektif, dan konstruktif, sejalan dengan teori APOS yang menekankan perkembangan pemahaman matematis melalui tahapan aksi, proses, objek, dan skema (Arnon et al., 2014;

Dubinsky & McDonald, 2001). Pendekatan Realistic Mathematics Education (RME) yang menempatkan konteks nyata sebagai pijakan menuju abstraksi formal (Freudenthal, 1991; Gravemeijer & Doorman, 1999b), serta teori perkembangan kognitif yang menegaskan bahwa pembelajaran konsep abstrak memerlukan tahapan konstruksi mental yang bertahap (Piaget, 1972). Dalam kerangka ini, struktur ARICT secara konseptual juga merepresentasikan lintasan matematisasi, yaitu proses transformasi dari konteks nyata menuju representasi matematis formal melalui tahapan matematisasi horizontal dan vertikal. Matematisasi horizontal terjadi pada tahap awal ketika mahasiswa menafsirkan masalah kontekstual ke dalam model informal, sedangkan matematisasi vertikal berkembang pada tahap lanjutan ketika mahasiswa mengorganisasi, memformalkan, dan menggeneralisasi konsep secara sistematis.

Dalam konteks pembelajaran digital, desain ARICT juga selaras dengan prinsip blended learning, yang mengintegrasikan pembelajaran daring dan luring secara sinergis untuk mendukung eksplorasi mandiri, interaksi sosial, dan refleksi berkelanjutan (Garrison & Vaughan, 2008). Dengan demikian, ARICT tidak sekadar menjadi urutan langkah instruksional, tetapi berperan sebagai mekanisme sistematis untuk mentransformasi pembelajaran digital menuju pendekatan konstruktivistik yang secara langsung mendukung pengembangan *Computational Thinking*, khususnya dalam dimensi dekomposisi, abstraksi, algoritmik, dan evaluasi (Schute et al., 2017; Wing, 2006). Setiap fase dalam ARICT secara fungsional memfasilitasi proses matematisasi: *Activate dan Respond* sebagai ruang eksplorasi konteks (*horizontal mathematization*), *Interpret* sebagai fase reorganisasi konseptual, serta *Construct* sebagai fase formalisasi (*vertical mathematization*), yang kemudian diperkuat melalui *Transfer and Reflect* sebagai proses generalisasi dan refleksi lintas konteks. Dalam konteks pembelajaran digital yang berkembang saat ini, penggunaan teknologi dalam model ARICT tidak dimaknai secara teknis semata, tetapi memiliki landasan pedagogis yang kuat sebagai bagian dari arsitektur pembelajaran. Penggunaan pendekatan digital dalam Model ARICT tidak semata-mata mengikuti perkembangan teknologi, tetapi didasarkan pada kebutuhan untuk menggeser praktik pembelajaran digital yang selama ini masih cenderung behavioristik menuju pembelajaran yang lebih

konstruktivistik. Dalam banyak praktik, LMS hanya digunakan sebagai media distribusi materi dan tugas, sehingga belum optimal dalam mendukung proses berpikir tingkat tinggi. Melalui ARICT, teknologi digital dimanfaatkan secara fungsional untuk memperkuat proses matematisasi dan pengembangan Computational Thinking, khususnya dalam penyajian konteks yang lebih autentik, visualisasi konsep melalui tools digital, serta refleksi berkelanjutan melalui LMS dan forum diskusi. Dengan demikian, digital berperan sebagai cognitive support yang membantu mahasiswa bergerak dari pemahaman kontekstual menuju representasi matematis formal secara lebih bermakna. Meskipun demikian, Model ARICT pada dasarnya bersifat fleksibel dan tidak sepenuhnya bergantung pada teknologi digital. Model ini tetap dapat diterapkan tanpa digital karena berakar pada struktur berpikir dan proses matematisasi. Namun, tanpa dukungan digital, beberapa keunggulan seperti visualisasi dinamis, eksplorasi interaktif, dan refleksi asinkron menjadi kurang optimal. Selain itu, model ini bersifat adaptif dan dapat diterapkan pada jenjang SMA maupun SMP dengan penyesuaian pada kompleksitas konteks, kedalaman konsep, serta penggunaan teknologi sesuai dengan karakteristik peserta didik. Untuk memperjelas keterkaitan antara setiap fase dalam ARICT dengan teori pembelajaran serta dimensi *Computational Thinking* yang dikembangkan, pemetaan tersebut disajikan dalam Tabel berikut.

Tabel 48. Struktur Tahapan ARICT dan Dasar Teoretisnya

Tahap	Fase	Fungsi Pedagogis	Landasan Teoretis
Pra Pembelajaran	<i>Activate Context</i>	Mengaktifkan pengetahuan awal dan menghadirkan masalah autentik berbasis konteks nyata melalui sumber belajar digital dan tugas kesiapan (matematisasi horizontal awal: mengidentifikasi dan memahami situasi kontekstual)	Reality principle dalam RME(Freudenthal, 1973; Gravemeijer, 1994); Action dalam APOS (Dubinsky & McDonald, 2001); Advance Organizer (Ausubel, 1968)
Pembelajaran Inti (Eksplorasi Awal)	<i>Respond with Ideas</i>	Mahasiswa mengemukakan ide awal, prediksi, dan strategi informal sebagai respons	Process awal dalam APOS (Arnon et al., 2014); Social constructivism (Vygotsky, 1978)

		terhadap masalah kontekstual (matematisasi horizontal: representasi informal dan eksplorasi model awal)	
Pembelajaran Inti (Pengorganisasian Konsep)	<i>Interpret and Structure</i>	Mahasiswa membandingkan strategi, mengidentifikasi hubungan konseptual, serta menyusun struktur pemahaman melalui diskusi dan scaffolding (transisi matematisasi horizontal ke vertikal melalui restrukturisasi konsep)	Process → Object dalam APOS (Arnon et al., 2014); Matematisasi vertikal dalam RME (Freudenthal, 1991); ZPD dan scaffolding (Vygotsky, 1978)
Pembelajaran Inti (Formalisasi)	<i>Construct Solutions</i>	Mahasiswa memformalkan konsep ke dalam model matematis atau representasi digital serta menyusun prosedur penyelesaian sistematis (matematisasi vertikal: formalisasi dan generalisasi konsep)	Object dalam APOS (Dubinsky & McDonald, 2001); Vertical mathematization (Gravemeijer & (Gravemeijer & Doorman, 1999a)
Pasca Pembelajaran	<i>Transfer and Reflect</i>	Mahasiswa menerapkan konsep pada situasi baru dan melakukan refleksi kritis untuk mengevaluasi efektivitas strategi berpikir (generalisasi hasil matematisasi dan integrasi ke dalam skema berpikir)	Schema dalam APOS (Dubinsky & McDonald, 2001); Guided reinvention dalam RME (Freudenthal, 1991); Metakognisi (Flavell, 1979); Taksonomi Bloom revisi (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001)

b. Integrasi Teori APOS dan Konsep Matematisasi RME dalam Struktur Sintaks ARICT

Integrasi antara Teori APOS dan konsep matematisasi *Realistic Mathematics Education* (RME) merupakan bagian penting dalam desain model ARICT karena menjelaskan bagaimana pembelajaran dirancang secara terarah berdasarkan dua

landasan teoretis yang saling melengkapi. Integrasi ini tidak hanya menempatkan APOS dan RME dalam satu model secara bersamaan, tetapi menyusun keduanya agar bekerja secara fungsional dalam setiap fase pembelajaran. Dalam ARICT, konteks nyata yang ditekankan dalam RME digunakan untuk memulai proses belajar, sedangkan perkembangan pemahaman mahasiswa dijelaskan melalui tahapan kognitif dalam APOS (Arnon et al., 2014; Dubinsky & McDonald, 2001).

Pendekatan RME memberikan dasar bahwa pembelajaran matematika sebaiknya dimulai dari situasi yang realistis dan dekat dengan pengalaman mahasiswa. Melalui prinsip matematisasi horizontal, mahasiswa terlebih dahulu memahami masalah dalam konteks nyata sebelum masuk ke bentuk matematika formal (Freudenthal, 1991; Gravemeijer, 1994). Hal ini membuat pembelajaran lebih bermakna karena mahasiswa tidak langsung berhadapan dengan simbol abstrak, tetapi memulai dari situasi yang dapat dipahami. Fase *Activate Context* dalam ARICT merupakan penerapan langsung dari prinsip tersebut. Selain itu, prinsip *guided reinvention* dalam RME juga membimbing dosen untuk membantu mahasiswa membangun konsep secara bertahap melalui diskusi dan eksplorasi, terutama pada fase *Interpret and Structure* dan *Construct Solutions* (Gravemeijer & Doorman, 1999a). Dalam konteks ini, matematisasi tidak hanya dipahami sebagai proses representasi, tetapi sebagai lintasan berpikir yang menghubungkan pengalaman kontekstual dengan struktur matematis formal. ARICT memfasilitasi lintasan tersebut secara eksplisit melalui transisi dari matematisasi horizontal menuju matematisasi vertikal.

Teori APOS membantu menjelaskan bagaimana pemahaman mahasiswa berkembang selama proses belajar. APOS menggambarkan perkembangan kognitif melalui tahapan *Action*, *Process*, *Object*, dan *Schema* (Dubinsky & McDonald, 2001). Kerangka ini memberikan arah bahwa pembelajaran tidak berhenti pada tindakan prosedural, tetapi harus mendorong mahasiswa sampai pada pemahaman konseptual yang lebih terstruktur. Dengan memahami posisi mahasiswa dalam tahapan tersebut, dosen dapat merancang aktivitas yang sesuai untuk membantu mahasiswa bergerak ke tingkat pemahaman berikutnya (Arnon et al., 2014).

Model ARICT menjadi wadah yang menghubungkan kedua teori ini. RME menyediakan konteks sebagai titik awal pembelajaran, sedangkan APOS memberikan jalur perkembangan pemahaman mahasiswa. Pada fase *Activate Cotext*, masalah kontekstual memicu mahasiswa melakukan tindakan awal (*Action*). Pada fase *Respond with Ideas*, mahasiswa mulai mencoba strategi dan ide informal. Selanjutnya, pada fase *Interpret and Structure*, mahasiswa mendiskusikan dan membandingkan strategi sehingga tindakan awal berkembang menjadi proses berpikir yang lebih terinternalisasi (*Process*). Pada fase *Construct Solutions*, mahasiswa mulai memformalkan solusi dan membangun model matematika, yang menunjukkan terbentuknya pemahaman sebagai objek konseptual (*Object*). Terakhir, fase *Transfer and Reflect* membantu mahasiswa menerapkan konsep pada situasi baru dan menghubungkannya dalam struktur pengetahuan yang lebih utuh (*Schema*) (Arnon et al., 2014; Dubinsky & McDonald, 2001). Jadi Pada fase *Activate* dan *Respond*, mahasiswa melakukan matematisasi horizontal melalui identifikasi situasi, representasi informal, dan eksplorasi ide. Selanjutnya, pada fase *Interpret and Structure*, terjadi transisi penting dari matematisasi horizontal ke vertikal, di mana mahasiswa mulai mengorganisasi dan merevisi model yang dibangun. Pada fase *Construct Solutions*, matematisasi vertikal menjadi dominan melalui formalisasi konsep, penggunaan notasi, dan penyusunan model matematis yang sistematis. Tahap *Transfer and Reflect* kemudian memperluas hasil matematisasi tersebut ke dalam skema berpikir yang lebih luas.

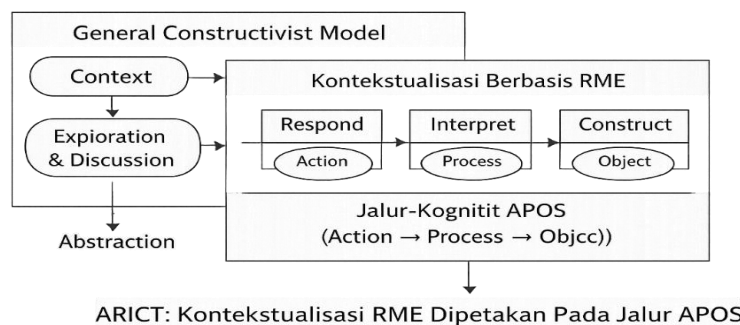
Integrasi ini membuat ARICT memiliki pembelajaran yang dimulai dari konteks yang bermakna, tetapi tetap diarahkan menuju abstraksi formal secara bertahap. Selain itu, desain ini juga mendukung pengembangan *Computational Thinking* karena setiap fase melatih kemampuan seperti dekomposisi, abstraksi, penyusunan langkah sistematis, dan evaluasi solusi (Schute et al., 2017; Tang et al., 2020; Wing, 2006). Ringkasan keterkaitan kontribusi RME dan konsep matematisasi APOS dalam setiap fase ARICT disajikan pada tabel berikut.

Tabel 49. Integrasi APOS dan RME dalam Sintaks ARICT

Fase ARICT	Aktivitas Mahasiswa	Kontribusi Matematisasi RME	Kontribusi APOS
<i>Activate Context</i>	Mahasiswa menganalisis masalah kontekstual dan mengaktifkan pengetahuan awal	Pembelajaran dimulai dari konteks realistik (Gravemeijer, 1994). Matematisasi horizontal awal melalui identifikasi situasi dan pemaknaan konteks	Memicu tindakan awal (Dubinsky & McDonald, 2001)
<i>Respond with Ideas</i>	Mahasiswa mengemukakan ide awal dan mencoba strategi informal	Eksplorasi awal dari situasi nyata; matematisasi horizontal melalui representasi informal (sketsa, narasi, model sederhana)	Mahasiswa melakukan tindakan konkret (Arnon et al., 2014)
<i>Interpret and Structure</i>	Mahasiswa membandingkan strategi dan menyusun pemahaman melalui diskusi	<i>Guided reinvention</i> melalui interaksi sosial (Gravemeijer & Doorman, 1999a); transisi dari matematisasi horizontal ke matematisasi vertikal melalui restrukturisasi konsep	Action berkembang menjadi <i>Process</i> (Arnon et al., 2014)
<i>Construct Solutions</i>	Mahasiswa memformalkan solusi dan membangun model matematis	Matematisasi vertikal menuju abstraksi formal (Freudenthal, 1991); formalisasi, generalisasi, dan penggunaan notasi matematis	Process menjadi <i>Object</i> (Dubinsky & McDonald, 2001)
<i>Transfer and Reflect</i>	Mahasiswa menerapkan konsep pada masalah baru dan merefleksikan strategi	Aplikasi lintas konteks dan keterkaitan konsep (Gravemeijer, 1994); generalisasi hasil matematisasi dan fleksibilitas penggunaan konsep	Object terintegrasi menjadi <i>Schema</i> (Arnon et al., 2014)

Kombinasi antara kontekstualisasi yang kuat dari RME dan jalur perkembangan kognitif yang terstruktur dari APOS memberikan ARICT presisi pedagogis yang lebih jelas dibandingkan model konstruktivis yang lebih umum. Model ini tidak hanya menjelaskan langkah-langkah pembelajaran, tetapi juga memberikan dasar teoretis mengenai mengapa setiap langkah diperlukan dan bagaimana langkah tersebut memengaruhi perkembangan struktur kognitif

mahasiswa. ARICT tidak hanya menjadi sintaks pembelajaran, melainkan sebuah arsitektur konseptual yang menjembatani konteks, proses berpikir, dan pembentukan pemahaman formal secara sistematis. Pemetaan integrasi kontekstualisasi RME pada jalur perkembangan kognitif APOS dalam struktur ARICT disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 27. Integrasi RME dan APOS dalam Sintaks ARICT

c. Keterkaitan Aktivitas Belajar dengan Lima Dimensi *Computational Thinking*

Sintaks ARICT dirancang sejalan dengan grand theory konstruktivisme (pembelajaran sebagai proses membangun pengetahuan melalui aktivitas bermakna dan interaksi), sehingga mahasiswa tidak hanya menerima informasi, tetapi membentuk pemahaman melalui pengalaman, dialog, dan refleksi. Kerangka ini diperkuat oleh APOS yang menjelaskan perkembangan pemahaman matematis dari *Action–Process–Object–Schema* (APOS) sebagai jalur perkembangan struktur kognitif, serta RME yang menempatkan konteks realistik sebagai titik awal agar mahasiswa bergerak dari pemaknaan situasi menuju abstraksi formal melalui proses matematisasi. Dalam konteks ini, pengembangan *Computational Thinking* tidak berdiri sendiri, tetapi merupakan implikasi langsung dari keberhasilan proses matematisasi yang dialami mahasiswa. Dalam pengembangan *Computational Thinking* (CT), ARICT diposisikan sebagai “rangka latihan” yang membuat CT dipraktikkan berulang melalui aktivitas pemecahan masalah, bukan diajarkan sebagai teori semata (Schute et al., 2017; Wing, 2006). Temuan riset mutakhir juga menegaskan bahwa CT tumbuh kuat ketika pembelajaran memfasilitasi pemodelan masalah, strategi beragam, diskusi, serta evaluasi solusi bukan sekadar latihan prosedural (Ardito et al., 2022; Kong & Lai, 2022; Tang et al., 2020).

Keterkaitan ARICT dengan peningkatan CT bersifat kumulatif, artinya keterampilan pada fase awal menjadi fondasi bagi fase berikutnya. Pada fase

Activate Context, mahasiswa dihadapkan pada masalah kontekstual sehingga mereka terdorong mengurai informasi dan menetapkan apa yang diketahui–ditanyakan. Aktivitas ini merupakan bentuk matematisasi horizontal awal, di mana mahasiswa mulai mengidentifikasi elemen penting dari situasi nyata. Aktivitas ini secara langsung melatih dekomposisi dan abstraksi awal (memilih informasi relevan dan mengabaikan detail yang tidak penting). Pada fase *Respond with Ideas*, mahasiswa mulai mencoba strategi informal, contoh sederhana, atau representasi awal; ini menguatkan pengenalan pola (awal) sekaligus membangun “rangka” algoritmik informal (langkah-langkah penyelesaian versi mahasiswa). Pada tahap ini, matematisasi horizontal berkembang melalui representasi informal seperti sketsa, narasi, atau model sederhana. Kerangka ini selaras dengan pandangan CT sebagai kemampuan merumuskan masalah dan menyusun prosedur solusi yang dapat dijalankan (Wing, 2006), dan konsisten dengan bukti riset bahwa CT berkembang melalui aktivitas pemecahan masalah yang memberi ruang strategi beragam dan representasi yang berbeda (Angeli & Giannakos, 2020; Tang et al., 2020).

Fase *Interpret and Structure* menjadi titik kritis karena di sini mahasiswa membandingkan strategi, menegosiasikan makna, dan menyusun hubungan antar-konsep melalui diskusi serta scaffolding. Tahap ini mencerminkan transisi dari matematisasi horizontal ke matematisasi vertikal, di mana mahasiswa mulai menyusun struktur konseptual yang lebih sistematis. Pada fase ini, CT berkembang kuat pada pengenalan pola tingkat lanjut (menemukan kesamaan struktur dari strategi yang tampak berbeda) dan evaluasi timbal balik (menilai kelebihan-kekurangan pendekatan). Literatur terbaru menunjukkan bahwa diskusi, argumentasi, dan perbandingan strategi merupakan mekanisme penting untuk meningkatkan kualitas penalaran dan evaluasi dalam pemecahan masalah berbasis CT (Ardito et al., 2022; Muhammad et al., 2024).

Berikutnya, fase *Construct Solutions* memfasilitasi pergeseran dari strategi informal menuju model/representasi yang lebih formal dan dapat digeneralisasi. Pada tahap ini, matematisasi vertikal terjadi secara eksplisit melalui penggunaan notasi matematis, pemodelan formal, serta penyusunan prosedur algoritmik yang sistematis. Ini melatih abstraksi lanjutan (memformalkan model, notasi, atau relasi)

dan desain algoritma formal (prosedur yang lebih presisi, terstruktur, dan dapat diulang). Sejalan dengan temuan kajian mutakhir, dukungan teknologi/representasi (misalnya simulasi atau alat visual) dan penekanan pada formalisasi solusi dapat memperkuat CT terutama pada aspek algoritmik dan abstraksi (Kong & Lai, 2022; Tang et al., 2020).

Fase *Transfer and Reflect* menempatkan mahasiswa untuk menerapkan konsep pada konteks baru serta merefleksikan strategi berpikir. Tahap ini memperkuat hasil matematisasi dalam bentuk generalisasi dan integrasi ke dalam skema berpikir yang lebih luas. Di sinilah evaluasi tingkat tinggi muncul: mahasiswa menilai ketepatan dan efisiensi solusi, menguji generalisasi, serta menyadari kekuatan–keterbatasan strategi yang dipakai. Riset terbaru menekankan bahwa aktivitas refleksi dan transfer konteks merupakan pendorong penting bagi CT yang matang karena memaksa mahasiswa menilai kualitas solusi dan fleksibilitas pengetahuan yang dibangun (Ardito et al., 2022; Muhammad et al., 2024).

Keunikan ARICT dibanding model konstruktivis umum adalah mekanisme perjalanannya dari konteks menuju konsep yang lebih terartikulasi. Konteks dalam ARICT secara sengaja dirancang sebagai titik awal matematisasi, bukan sekadar ilustrasi, sehingga setiap aktivitas belajar memiliki arah yang jelas menuju pembentukan struktur matematis formal. Konteks bukan sekadar “contoh pemantik”, tetapi dipilih untuk mendorong matematisasi (RME) dan sekaligus memandu perkembangan struktur kognitif mahasiswa secara bertahap (APOS). Karena itu, dosen dapat lebih presisi: bukan hanya memastikan mahasiswa “aktif”, tetapi juga memantau apakah mahasiswa masih berada pada aksi prosedural atau sudah bergerak ke pemahaman proses, objek, dan skema. Kerangka seperti ini dinilai penting dalam studi-studi terbaru karena pembelajaran CT yang efektif memerlukan desain aktivitas yang sengaja menargetkan proses kognitif tertentu, bukan sekadar menambahkan teknologi atau tugas proyek (Kong & Lai, 2022; Muhammad et al., 2024; Tang et al., 2020). Tabel berikut merangkum hubungan antara fase ARICT, aktivitas belajar utama yang terjadi pada setiap fase, serta dimensi *Computational Thinking* yang dikembangkan melalui aktivitas tersebut.

Tabel 50. Pemetaan Fase ARICT, Aktivitas Belajar, dan Dimensi CT

Fase ARICT	Aktivitas Belajar Utama	Dimensi CT yang Dikembangkan
<i>Activate</i>	Mahasiswa dihadapkan pada masalah kontekstual yang kompleks; memecah masalah menjadi sub-masalah yang lebih kecil; mengidentifikasi variabel dan kendala yang relevan. (matematisasi horizontal awal melalui pemahaman konteks dan identifikasi komponen masalah)	Dekomposisi
<i>Respond</i>	Mahasiswa mencoba berbagai kasus spesifik; mengeksplorasi kemungkinan solusi awal; membuat representasi sederhana seperti sketsa atau tabel. (matematisasi horizontal melalui representasi informal dan eksplorasi model awal)	Pengenalan Pola (awal), Abstraksi (informal)
<i>Interpret</i>	Mahasiswa membandingkan berbagai strategi solusi; mendiskusikan kesamaan dan perbedaan pendekatan; mengevaluasi argumen dan solusi teman sebayanya. (transisi matematisasi horizontal ke vertikal melalui restrukturisasi konsep dan hubungan antar representasi)	Pengenalan Pola (lanjutan), Evaluasi, Desain Algoritma (awal)
<i>Construct</i>	Mahasiswa memformalkan konsep melalui notasi dan model matematika; mendefinisikan variabel dan hubungan formal; menyusun prosedur penyelesaian yang sistematis (misalnya flowchart atau pseudocode). (matematisasi vertikal melalui formalisasi, generalisasi, dan pemodelan matematis)	Abstraksi (formal), Desain Algoritma, Evaluasi
<i>Transfer & Reflect</i>	Mahasiswa menerapkan konsep pada permasalahan baru; menguji generalisasi solusi; merefleksikan proses berpikir dan strategi yang digunakan selama pembelajaran. (generalisasi hasil matematisasi dan fleksibilitas penerapan konsep)	Evaluasi (metakognitif)

2. Kevalidan Model Pembelajaran ARICT

Model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan RME selanjutnya disebut sebagai model ARICT merupakan inovasi pedagogis yang dirancang untuk mengembangkan kemampuan *Computational Thinking* (CT) mahasiswa dalam pembelajaran matematika berbasis *Learning Management System* (LMS). Model ini disusun sebagai kerangka pembelajaran digital yang menekankan keterpaduan antara konteks nyata, eksplorasi ide, penataan konsep, konstruksi solusi, dan refleksi transfer pengetahuan. Secara teoretis, ARICT berakar pada konstruktivisme sosial yang menempatkan mahasiswa sebagai subjek aktif dalam membangun pemahaman melalui interaksi, scaffolding, serta negosiasi makna dalam komunitas belajar (Vygotsky, 1978). Sintaks pembelajaran dalam model ini tidak diposisikan

sebagai prosedur mekanis, melainkan sebagai tahapan kognitif yang secara progresif mendorong mahasiswa mengembangkan cara berpikir komputasional secara terstruktur.

Komponen sintaks dalam model ARICT dimulai dari tahap *Activate Context*, yaitu pemberian konteks autentik untuk membangun kesadaran awal mahasiswa terhadap permasalahan. Tahap ini menekankan bahwa pembelajaran matematika akan lebih bermakna ketika konsep abstrak dihubungkan dengan situasi nyata yang dapat dipahami mahasiswa. Pendekatan kontekstual semacam ini sejalan dengan temuan penelitian internasional bahwa konteks autentik berperan penting dalam memicu keterlibatan kognitif dan mendukung proses awal *Computational Thinking*, seperti pengenalan pola dan dekomposisi masalah (Jeong et al., 2023; Tang et al., 2020). Tahap berikutnya, *Respond with Ideas*, memberi ruang bagi mahasiswa untuk mengemukakan dugaan awal, strategi intuitif, serta ide pemecahan masalah secara kolaboratif. Aktivitas ini penting karena CT berkembang melalui proses eksternalisasi ide dan dialog konseptual, bukan sekadar latihan prosedural (Kwon et al., 2022).

Tahap *Interpret and Structure* berfokus pada proses penataan dan pemaknaan kembali ide-ide awal mahasiswa menjadi struktur konsep yang lebih sistematis. Pada tahap ini, pemanfaatan teknologi seperti GeoGebra mendukung visualisasi dinamis dan representasi matematis, sehingga mahasiswa dapat membangun pemahaman konseptual secara lebih terorganisasi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan perangkat lunak matematika interaktif membantu mahasiswa mengurangi beban kognitif, memperkuat abstraksi, serta meningkatkan kualitas representasi matematis dalam pembelajaran digital (Sweller et al., 2019; Zengin, 2020)(Sweller et al., 2019). Selanjutnya, tahap *Construct Solutions* mengarahkan mahasiswa untuk membangun solusi secara algoritmik dan logis melalui pemodelan matematis. Tahap ini sejalan dengan pandangan bahwa *Computational Thinking* menuntut kemampuan merancang solusi sistematis yang dapat diuji dan direvisi secara iteratif (Weintrop et al., 2021). Tahap akhir, *Transfer and Reflect*, mendorong mahasiswa mentransfer konsep ke situasi baru sekaligus merefleksikan strategi berpikir yang digunakan. Refleksi dan transfer dipandang sebagai elemen

penting dalam pembelajaran mendalam karena memperkuat generalisasi konsep dan regulasi diri mahasiswa (Hattie & Donoghue, 2020; Loyens et al., 2022).

Selain sintaks, model ARICT juga menekankan prinsip reaksi dosen sebagai fasilitator reflektif. Dosen memberikan scaffolding konseptual, pertanyaan terbuka, serta umpan balik formatif yang mendorong mahasiswa memonitor dan memperbaiki cara berpikirnya. Prinsip ini sejalan dengan penelitian (Shute, 2019) yang menegaskan bahwa umpan balik formatif yang tepat waktu dan konstruktif merupakan kunci dalam pembelajaran berbasis pemecahan masalah dan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Dimensi sistem sosial dalam model ARICT dibangun melalui diskusi kelompok, interaksi antarmahasiswa, serta dialog terbuka antara dosen dan mahasiswa. Sistem sosial ini menciptakan learning community yang memungkinkan mahasiswa menjadi co-constructors of knowledge, saling menanggapi ide, serta membangun pemahaman melalui kolaborasi. Pembelajaran kolaboratif terbukti berkontribusi pada penguatan keterampilan berpikir komputasional karena mahasiswa tidak hanya menyelesaikan masalah secara individu, tetapi juga melakukan negosiasi strategi dan klarifikasi konsep secara sosial (Bond, Bedenlier, Buntins, et al., 2020; H. Wang & Liu, 2024).

Model ARICT juga didukung oleh sistem pendukung berupa LMS dan teknologi pembelajaran digital. LMS berfungsi sebagai pusat pengelolaan aktivitas belajar, penyajian materi, diskusi daring, pengumpulan tugas, serta refleksi pembelajaran. Integrasi LMS dalam pembelajaran memungkinkan pengalaman belajar berlangsung fleksibel namun tetap terstruktur, sesuai dengan karakteristik pembelajaran digital di pendidikan tinggi (Veletsianos & Houlden, 2022). GeoGebra sebagai media visualisasi turut memperkuat representasi matematis mahasiswa dan mendukung eksplorasi konsep secara dinamis.

Dampak instruksional model ARICT diarahkan pada pengembangan kemampuan *Computational Thinking*, sedangkan dampak pengiring mencakup penguatan kolaborasi akademik, komunikasi matematis, literasi digital, serta regulasi diri mahasiswa dalam pembelajaran berbasis teknologi. Hal ini sejalan dengan pandangan bahwa pembelajaran digital yang efektif tidak hanya

menghasilkan capaian kognitif, tetapi juga membangun kompetensi abad ke-21 yang lebih luas (Mishra et al., 2022; Wing, 2006).

Secara keseluruhan, keterpaduan lima komponen utama dalam model ARICT, yaitu sintaks pembelajaran, prinsip reaksi, sistem sosial, sistem pendukung, serta dampak instruksional dan pengiring, membentuk ekosistem pembelajaran digital yang adaptif dan konstruktif. Model ini dirancang tidak hanya untuk membantu mahasiswa memahami konsep matematika secara lebih bermakna, tetapi juga untuk membangun pola berpikir komputasional yang sistematis sebagai kompetensi penting dalam pendidikan tinggi di era digital.

Validitas model pembelajaran ARICT dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan memiliki dasar teoritis yang kuat serta memenuhi kriteria kelayakan sebelum diterapkan pada uji coba lapangan. Proses validasi ini penting karena model pembelajaran yang baik harus menunjukkan kesesuaian antara rancangan sintaks, tujuan pembelajaran, serta konstruk kemampuan yang ingin dikembangkan, yaitu *Computational Thinking*. Validasi dilakukan melalui evaluasi ahli berdasarkan validitas isi dan validitas konstruk, sebagaimana disarankan dalam pengembangan model pendidikan agar model yang dihasilkan tidak hanya inovatif tetapi juga dapat dipertanggungjawabkan secara akademik (Mahmud, 2020; Taherdoost, 2018). Hasil validasi menunjukkan bahwa model ARICT memenuhi standar kelayakan untuk digunakan dalam pembelajaran matematika berbasis LMS.

a. Validasi Isi Model ARICT

Validasi isi merupakan tahap penting untuk memastikan bahwa seluruh komponen model pembelajaran yang disusun telah sesuai dengan teori pembelajaran yang relevan, selaras dengan konteks pembelajaran nyata di perguruan tinggi, serta mampu mendukung pengembangan *Computational Thinking* mahasiswa. Menurut (Mahmud, 2020), validitas isi diperlukan untuk menilai apakah suatu model telah merepresentasikan domain pembelajaran secara tepat dan komprehensif.

Validasi isi model ARICT dilakukan oleh lima orang validator yang memiliki keahlian dalam bidang pendidikan matematika, pengembangan perangkat pembelajaran digital, serta integrasi teknologi dalam pembelajaran. Aspek yang

dinilai mencakup kelayakan konten, kejelasan penyajian, ketepatan sintaks ARICT, relevansi terhadap pengembangan *Computational Thinking*, serta kelayakan implementasi dalam pembelajaran berbasis LMS. Hasil validasi menunjukkan bahwa model ARICT memperoleh indeks validitas rata-rata sebesar 0.92, yang berada pada kategori sangat valid. Nilai ini menunjukkan bahwa model ARICT dinilai layak digunakan dan telah memenuhi kesesuaian teoritis maupun praktis dalam pembelajaran matematika di perguruan tinggi.

Aspek kelayakan konten memperoleh indeks validitas sebesar 0,91, yang menunjukkan bahwa materi dan konteks pembelajaran yang digunakan telah sesuai dengan capaian pembelajaran mata kuliah Aljabar Linear serta mendukung kemampuan representasi matematis dalam *Computational Thinking*. Validator menilai bahwa penggunaan konteks autentik seperti pemodelan perpindahan melalui Google Maps mampu memperkuat keterkaitan antara konsep abstrak vektor dengan situasi nyata mahasiswa. Temuan ini sejalan dengan Schunk and Greene (2021) yang menegaskan bahwa pemahaman konseptual lebih kuat ketika pembelajaran dikaitkan dengan pengalaman konkret peserta didik.

Aspek kejelasan penyajian memperoleh indeks validitas sebesar 0,94, menunjukkan bahwa sintaks ARICT disajikan secara runtut, sistematis, dan mudah dipahami oleh dosen maupun mahasiswa. Validator menilai bahwa tahapan *Activate* hingga *Transfer* tersusun jelas dan didukung oleh aktivitas pembelajaran berbasis LMS. Penelitian (Chu et al., 2020) juga menunjukkan bahwa pembelajaran digital yang terstruktur melalui sumber terbuka dan platform daring dapat meningkatkan akses mahasiswa terhadap pengalaman belajar yang lebih mendalam.

Pada aspek ketepatan sintaks ARICT, diperoleh indeks validitas sebesar 0,93, yang menunjukkan bahwa tahapan *Activate Context*, *Respond with Ideas*, *Interpret and Structure*, *Construct Solutions*, serta *Transfer and Reflect* telah sesuai dengan prinsip pembelajaran berbasis masalah dan pengembangan *Computational Thinking*. Struktur sintaks yang eksplisit dinilai mampu mengarahkan mahasiswa untuk membangun solusi secara sistematis. Hal ini sejalan dengan (Dolmans et al., 2019) yang menekankan bahwa kejelasan tahapan dalam model berbasis masalah merupakan faktor penting dalam keberhasilan pembelajaran.

Aspek pengembangan *Computational Thinking* memperoleh indeks validitas sebesar 0,90, yang menunjukkan bahwa model ARICT dinilai mampu melatih mahasiswa dalam dekomposisi masalah, abstraksi, representasi matematis, serta penyusunan solusi logis. Validator menilai bahwa integrasi GeoGebra dan aktivitas refleksi melalui LMS memperkuat proses berpikir komputasional mahasiswa. Temuan ini selaras dengan (Weintrop et al., 2021) yang menegaskan bahwa *Computational Thinking* berkembang melalui pengalaman pemodelan, representasi, dan refleksi berbasis teknologi.

Aspek kelayakan implementasi memperoleh indeks validitas sebesar 0,91, yang menunjukkan bahwa model ARICT fleksibel diterapkan dalam perkuliahan blended learning. Validator menyatakan bahwa model ini realistis digunakan dalam kelas perguruan tinggi karena LMS berperan sebagai pusat aktivitas belajar, diskusi, dan tugas reflektif. (Dolmans et al., 2019) menegaskan bahwa pembelajaran digital yang terintegrasi LMS memungkinkan mahasiswa belajar secara fleksibel namun tetap terarah.

Secara keseluruhan, rata-rata indeks validitas isi sebesar 0,92 menunjukkan bahwa model ARICT tergolong sangat valid dan layak diterapkan dalam pembelajaran matematika berbasis LMS untuk mengembangkan *Computational Thinking* mahasiswa. Validitas isi yang tinggi ini menjadi landasan kuat untuk melanjutkan model ke tahap implementasi dan evaluasi berikutnya (Dolmans et al., 2019).

b. Validasi Konstruk Model ARICT

Validasi konstruk bertujuan untuk menilai konsistensi internal serta kemampuan komponen model dalam merepresentasikan konsep pembelajaran yang dirancang. Menurut (Dolmans et al., 2019), validitas konstruk merupakan fondasi penting dalam memastikan bahwa suatu model benar-benar mengukur konstruk yang dimaksud, baik secara teoritis maupun praktis. Pada Model ARICT, delapan aspek utama divalidasi, yaitu struktur komponen model, pendukung teori, sintaks pembelajaran, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dampak instruksional, dan dampak pengiring.

Aspek pertama, yaitu struktur komponen Model ARICT, menunjukkan indeks validitas sebesar 0,888 dari lima validator, yang menandakan adanya

konsistensi serta tidak terdapat kontradiksi antar komponen seperti sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, dan sistem pendukung. Uraian konsep dalam model dinilai saling melengkapi, dan aktivitas dosen serta mahasiswa pada setiap tahapan pembelajaran juga dipandang relevan dengan tujuan pengembangan *Computational Thinking*. Temuan ini mendukung pandangan (Gagné et al., 2019), bahwa keberhasilan desain model sangat bergantung pada integrasi logis antar komponen yang merefleksikan proses pembelajaran secara utuh.

Pada aspek pendukung teori, model memperoleh indeks validitas rata-rata sebesar 0,906. Model ARICT memadukan konstruktivisme sosial, teori pemrosesan informasi, serta pendekatan pembelajaran berbasis teknologi digital sebagai dasar dalam merancang pengalaman belajar yang menekankan proses berpikir komputasional. Keterkaitan teori dengan tujuan model dinilai relevan dan tidak saling bertentangan, sebagaimana ditegaskan oleh (Kaufman, 2022), bahwa integrasi teori pembelajaran ke dalam model harus mempertimbangkan konteks pembelajar serta kompetensi yang ingin dikembangkan secara sistematis.

Aspek sintaks pembelajaran ARICT divalidasi dengan indeks validitas sebesar 0.888, mencakup lima tahap utama yaitu *Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions*, serta *Transfer and Reflect*. Hubungan antar tahapan dinilai saling terkait dan membentuk alur pembelajaran yang jelas, terutama dalam mengarahkan mahasiswa untuk berpikir dari konteks nyata menuju representasi matematis dan penyusunan solusi yang sistematis. Validasi ini memperkuat relevansi model dalam mengembangkan pembelajaran berbasis masalah secara terstruktur, sejalan dengan temuan (Moust et al., 2021) bahwa model dengan tahapan eksploratif yang eksplisit cenderung meningkatkan keterlibatan mahasiswa dalam proses pemecahan masalah.

Aspek sistem sosial memperoleh indeks validitas sebesar 0.888, menunjukkan bahwa interaksi mahasiswa dan dosen berlangsung melalui diskusi kolaboratif yang mendukung pertukaran ide dan negosiasi makna. Pola sosial ini membantu mahasiswa membangun pemahaman tidak hanya melalui penerimaan informasi, tetapi melalui argumentasi, klarifikasi, serta perbandingan strategi pemodelan. Hal ini menanggapi kelemahan pembelajaran konvensional yang sering

kurang memberi ruang diskusi bermakna, sebagaimana diungkapkan oleh (Moust et al., 2021) dan (Vischers-Pleijers et al., 2021).

Pada aspek prinsip reaksi, indeks validitas mencapai 0.920, yang menunjukkan bahwa peran dosen dalam model ARICT digambarkan mendorong eksplorasi, memberikan scaffolding konseptual, serta menjaga diskusi tetap terarah tanpa mengambil alih proses berpikir mahasiswa. Dosen berperan sebagai fasilitator yang mengatur ritme pembelajaran dan membangun ruang dialog akademik. Peran ini menjadi penyeimbang antara pembelajaran terstruktur dan kemandirian mahasiswa dalam mengembangkan ide, sebagaimana disarankan oleh (Dolmans et al., 2019).

Aspek sistem pendukung memperoleh indeks validitas tertinggi sebesar 0.973, menunjukkan bahwa LMS, perangkat pembelajaran digital, serta pemanfaatan GeoGebra sebagai media eksplorasi matematis dinilai sangat sesuai dengan tujuan pembelajaran abad ke-21. LMS mendukung keterpaduan aktivitas tatap muka dan daring, sedangkan GeoGebra membantu mahasiswa melakukan visualisasi, representasi vektor, serta pemodelan solusi secara dinamis. Temuan ini sejalan dengan (Martin, Wang, et al., 2020) yang menekankan bahwa teknologi digital dapat memperkaya pengalaman belajar melalui akses sumber belajar, fleksibilitas pembelajaran, dan penguatan aktivitas eksploratif.

Aspek dampak instruksional memperoleh indeks validitas sebesar 0.897, yang menunjukkan bahwa model ARICT dinilai mampu mendukung peningkatan pemahaman konsep matematika serta melatih kemampuan *Computational Thinking*, khususnya dalam dekomposisi masalah, abstraksi, representasi, dan penyusunan solusi logis. Keterlibatan mahasiswa dalam aktivitas berbasis masalah serta pemanfaatan media digital memperkuat kompetensi berpikir tingkat tinggi, sebagaimana ditegaskan oleh (Kim & Reeves, 2020).

Terakhir, aspek dampak pengiring memperoleh indeks validitas sebesar 0.888, menunjukkan bahwa model ARICT memberikan kontribusi positif dalam pengembangan karakter akademik mahasiswa, seperti kemampuan kolaborasi, komunikasi ilmiah, literasi digital, serta penghargaan terhadap ide rekan lain dalam diskusi kelompok. Hasil ini mendukung temuan (Kaufman, 2022), bahwa model

pembelajaran inovatif yang efektif tidak hanya membentuk kemampuan kognitif, tetapi juga sikap dan keterampilan sosial yang menyertai proses belajar.

Secara keseluruhan, nilai indeks rata-rata validasi konstruk sebesar 0.906 menunjukkan bahwa Model ARICT memiliki struktur konseptual yang kuat dan konsisten secara internal. Model ARICT dinilai berhasil mengintegrasikan teori dan praktik pembelajaran melalui sintaks berbasis masalah, interaksi kolaboratif, serta dukungan teknologi LMS dan GeoGebra dalam mengembangkan *Computational Thinking* mahasiswa secara lebih sistematis dan bermakna (Runco & Jaeger, 2022).

c. Validitas Instrumen Model ARICT

Memastikan keabsahan dan keterandalan instrumen penelitian dalam mengukur efektivitas Model ARICT terhadap kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa dilakukan serangkaian proses validasi ahli dan uji statistik. Instrumen yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur hasil belajar, tetapi juga sebagai perangkat pendukung keterlaksanaan sintaks pembelajaran digital berbasis LMS. Validasi ini penting untuk menjamin bahwa setiap instrumen benar-benar merepresentasikan konstruk berpikir komputasional yang menjadi tujuan utama model.

Hasil validitas isi terhadap perangkat pembelajaran berupa Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) menunjukkan bahwa perangkat yang dikembangkan memiliki kualitas yang sangat tinggi. RPS dinyatakan valid dengan indeks validitas rata-rata yang berada pada kategori layak digunakan, sedangkan LKM memperoleh indeks validitas rata-rata sebesar 0,928 dan termasuk dalam kategori “sangat valid”. Aspek-aspek yang dinilai meliputi kesesuaian tujuan pembelajaran, keterpaduan sintaks ARICT, relevansi konteks nyata, serta integrasi aktivitas pembelajaran melalui LMS (Brookhart, 2020; Runco & Jaeger, 2022). Saran perbaikan dari validator, seperti penyederhanaan instruksi, penguatan keterkaitan aktivitas dengan indikator CT, serta konsistensi istilah pada setiap tahap sintaks, menunjukkan bahwa proses revisi dilakukan dengan mempertimbangkan aspek pedagogis dan keterpakaian dalam konteks perkuliahan.

Validasi terhadap instrumen pengukuran berupa lembar observasi keterlaksanaan model, angket respons dosen, serta angket respons mahasiswa juga menunjukkan hasil yang sangat baik. Lembar observasi keterlaksanaan model memperoleh indeks validitas rata-rata sebesar 0,917–0,933, yang menunjukkan

bahwa indikator-indikator pelaksanaan sintaks ARICT dinilai sesuai dan dapat digunakan untuk memotret implementasi pembelajaran secara sistematis. Angket respons dosen memperoleh indeks validitas rata-rata sekitar 0,928, mencerminkan persepsi positif terhadap kejelasan sintaks, kemudahan implementasi, serta dukungan LMS dalam mengelola pembelajaran digital. Angket respons mahasiswa juga memperoleh indeks validitas tinggi, yang menunjukkan bahwa mahasiswa merasa terbantu dalam memahami konsep melalui aktivitas kontekstual, diskusi ide, visualisasi dengan GeoGebra, serta refleksi berbasis LMS. Temuan ini memperkuat bahwa model ARICT tidak hanya valid secara konseptual, tetapi juga praktis dalam penerapan pembelajaran digital di perguruan tinggi (Brookhart, 2020).

Uji validitas dan reliabilitas terhadap instrumen tes *Computational Thinking* yang dilakukan secara empiris semakin memperkuat temuan tersebut. Seluruh butir soal menunjukkan nilai korelasi yang lebih besar daripada r tabel ($\alpha = 0,05$), sehingga seluruh item dinyatakan valid dalam mengukur aspek berpikir komputasional, seperti dekomposisi masalah, abstraksi, representasi, dan penyusunan solusi algoritmik. Selain itu, hasil uji reliabilitas dengan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,953 mengindikasikan bahwa instrumen tes memiliki konsistensi internal yang sangat tinggi dan reliabel untuk digunakan pada tahap pengujian efektivitas model (Brookhart, 2020).

Hasil validitas perangkat dan instrumen tersebut sejalan dengan kajian teoritik bahwa model pembelajaran berbasis *Computational Thinking* memerlukan dukungan perangkat ajar, instrumen asesmen, serta ekosistem digital yang saling memperkuat (Shute et al., 2021). Validitas konstruk Model ARICT yang telah diperoleh sebelumnya dengan indeks rata-rata 0,906 juga menunjukkan bahwa keseluruhan komponen model, mulai dari sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, hingga sistem pendukung berbasis LMS telah terintegrasi secara konsisten dan bebas dari kontradiksi internal.

Model ARICT dapat disimpulkan telah didukung oleh perangkat pembelajaran dan instrumen penelitian yang terbukti valid dan reliabel. Saran validator seperti penguatan refleksi berbasis LMS, peningkatan visualisasi konsep menggunakan GeoGebra, serta fleksibilitas penerapan model dalam konteks kelas

perkuliahan menjadi langkah penyempurnaan penting sebelum tahap implementasi lebih luas. Secara keseluruhan, model ini tidak hanya memiliki landasan teoritis yang kuat, tetapi juga didukung secara empirik sebagai model pembelajaran digital yang layak digunakan untuk meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa secara sistematis dan bermakna.

3. Kepraktisan Model Pembelajaran ARICT

Uji kepraktisan Model ARICT dilakukan untuk menilai sejauh mana model dapat diterapkan secara nyata dalam pembelajaran digital berbasis LMS serta memperoleh respons positif dari pihak yang terlibat. Kepraktisan dalam penelitian pengembangan tidak hanya mencerminkan kemudahan implementasi secara teknis, tetapi juga menunjukkan bahwa model mampu mendukung proses pembelajaran yang terstruktur, kontekstual, dan relevan dengan kebutuhan mahasiswa dalam mengembangkan kemampuan *Computational Thinking*. Penilaian kepraktisan ini diperoleh melalui triangulasi data dari observasi keterlaksanaan sintaks, angket respons dosen, serta angket respons mahasiswa selama uji coba lapangan di kelas perkuliahan (Shute et al., 2021).

Hasil observasi keterlaksanaan model yang dilakukan oleh observer menunjukkan bahwa seluruh tahapan ARICT, mulai dari *Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions*, hingga *Transfer and Reflect* dapat dilaksanakan secara konsisten pada kedua kelas uji coba. Rerata indeks kepraktisan observasi berada pada kategori sangat baik, yang mengindikasikan bahwa sintaks model tidak hanya dapat diterapkan sesuai desain, tetapi juga mampu mengarahkan aktivitas belajar mahasiswa secara sistematis melalui kombinasi pembelajaran tatap muka dan dukungan LMS. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Shute et al., 2021) yang menekankan bahwa model pembelajaran digital yang efektif harus memiliki struktur aktivitas yang jelas agar interaksi daring dan luring dapat terintegrasi secara fungsional.

Respons dosen terhadap implementasi Model ARICT juga menunjukkan hasil yang positif. Dosen menilai bahwa model ini mudah diterapkan dalam perkuliahan karena alur sintaksnya terarah, perangkat pembelajaran mendukung aktivitas kelas, serta LMS membantu pengelolaan materi, tugas, dan refleksi mahasiswa secara lebih sistematis. Indeks kepraktisan dari angket dosen berada pada kategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa model tidak menambah beban

pembelajaran secara signifikan, melainkan memperkuat peran dosen sebagai fasilitator dalam membimbing proses berpikir mahasiswa. Hal ini konsisten dengan temuan (Martin, Sun, et al., 2020a) bahwa *Learning Management System* dapat meningkatkan efisiensi pembelajaran apabila digunakan untuk mendukung scaffolding dan monitoring aktivitas belajar.

Respons mahasiswa terhadap Model ARICT berbasis LMS juga menunjukkan kecenderungan yang sangat positif. Mahasiswa menyatakan bahwa pembelajaran menjadi lebih menarik, mudah diikuti, serta membantu mereka memahami konsep vektor dan perpindahan secara lebih kontekstual melalui aktivitas eksplorasi, visualisasi dengan GeoGebra, dan diskusi ide dalam kelompok. Indeks kepraktisan dari angket mahasiswa berada pada kategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa mahasiswa merasa terlibat aktif dalam setiap tahapan pembelajaran dan memperoleh pengalaman belajar yang lebih bermakna dibandingkan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan. Temuan ini sejalan dengan studi (Shute et al., 2021) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis *Computational Thinking* memerlukan aktivitas kolaboratif dan representasi visual untuk membantu mahasiswa membangun abstraksi dan struktur solusi.

Hasil evaluasi kepraktisan juga menunjukkan bahwa integrasi LMS dalam model ARICT menjadi faktor pendukung penting dalam menjaga keberlanjutan pembelajaran di luar kelas. LMS tidak hanya berfungsi sebagai media penyampaian materi, tetapi juga sebagai ruang interaksi akademik, pengumpulan tugas, diskusi reflektif, serta penguatan tahap *Transfer and Reflect*. Penggunaan LMS secara terarah dalam model ini sejalan dengan rekomendasi (Shute et al., 2021) bahwa pembelajaran digital yang efektif harus menyediakan ruang refleksi dan umpan balik berkelanjutan untuk mendukung regulasi diri mahasiswa.

Secara keseluruhan, triangulasi data dari observasi keterlaksanaan, respons dosen, dan respons mahasiswa menunjukkan bahwa Model ARICT berbasis LMS memiliki tingkat kepraktisan yang tinggi dan memperoleh penerimaan positif dalam konteks perkuliahan. Model ini tidak hanya layak diterapkan secara teknis, tetapi juga mendukung pembelajaran yang terstruktur dan kontekstual dalam mengembangkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa, khususnya

dalam aspek dekomposisi masalah, abstraksi, representasi, dan penyusunan solusi secara sistematis.

4. Keefektifan Model Pembelajaran ARICT

Uji keefektifan Model ARICT dilakukan untuk mengetahui sejauh mana model pembelajaran berbasis LMS ini mampu meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa dibandingkan dengan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan dalam perkuliahan. Pengujian efektivitas dilaksanakan melalui desain eksperimen pada dua kelas perkuliahan di Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Manajemen Informatika Institut Bakti Nusantara (IBN), yaitu kelas VEO A dan VEO C, dengan melibatkan dua dosen pengampu sebagai konteks implementasi yang berbeda. Penggunaan dua kelas ini memungkinkan pengujian model secara lebih stabil karena efektivitas tidak hanya diamati dalam satu konteks pembelajaran, tetapi juga diuji konsistensinya pada kelompok mahasiswa yang berbeda.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Model ARICT berbasis LMS memberikan dampak yang lebih kuat terhadap peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa dibandingkan dengan pembelajaran digital biasa. Nilai rata-rata pretest pada kelas eksperimen relatif berada pada kondisi awal yang sebanding dengan kelas pembanding, namun setelah perlakuan diberikan, skor posttest pada kelas eksperimen meningkat jauh lebih tinggi. Pada kelas yang diampu oleh Dosen 1, skor rata-rata meningkat dari 41,36 menjadi 85,00, sedangkan kelas pembanding hanya meningkat dari 41,11 menjadi 59,50. Pola serupa terjadi pada kelas Dosen 2, di mana kelas eksperimen meningkat dari 33,33 menjadi 81,50, sementara kelas pembanding meningkat dari 41,87 menjadi 60,42. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sintaks ARICT mampu mengarahkan mahasiswa pada proses berpikir yang lebih terstruktur, khususnya dalam mengidentifikasi komponen masalah, melakukan abstraksi, merepresentasikan konsep secara matematis, serta menyusun solusi secara logis dan sistematis.

Analisis N-gain memperkuat temuan tersebut. Nilai N-gain pada kelas eksperimen berada pada kategori tinggi, yaitu sebesar 0,711 pada kelas Dosen 1 dan 0,697 pada kelas Dosen 2. Sebaliknya, kelas pembanding hanya mencapai kategori sedang dengan nilai 0,478 dan 0,523. Temuan ini mengindikasikan bahwa Model ARICT lebih efektif dalam mendorong peningkatan kemampuan

Computational Thinking dibandingkan pembelajaran digital biasa. Model ini memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna melalui tahapan *Activate Context, Respond with Ideas, Interpret and Structure, Construct Solutions*, serta *Transfer and Reflect*, yang selaras dengan pengembangan CT melalui dekomposisi, abstraksi, dan penyusunan solusi algoritmik (Schute et al., 2017; Shute et al., 2021; Tikva & Tambouris, 2022a).

Pengujian asumsi statistik dilakukan sebelum analisis inferensial. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data N-gain kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa pada kelas eksperimen dan kelas pembanding berdistribusi normal. Pengujian normalitas menggunakan metode Lilliefors pada taraf signifikansi 5%. Hasil uji normalitas pada lampiran menunjukkan bahwa nilai signifikansi pada kelas eksperimen Dosen 1 sebesar 0,200, sedangkan kelas pembanding sebesar 0,118. Pada kelas eksperimen Dosen 2 diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,176, sedangkan kelas pembanding sebesar 0,134. Seluruh nilai tersebut lebih besar dari $\alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa data N-gain pada semua kelas berdistribusi normal.

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui kesamaan varians data N-gain pada kelas eksperimen dan kelas pembanding. Hasil uji homogenitas pada lampiran menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,842, yang berarti $\text{sig} > \alpha$. Temuan ini menunjukkan bahwa varians data N-gain bersifat homogen, sehingga memenuhi prasyarat analisis parametrik dan memungkinkan perbandingan antar kelompok dilakukan secara valid (Shute et al., 2021).

Uji hipotesis N-gain dilakukan setelah data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas. Pengujian hipotesis menggunakan uji ANOVA satu arah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa antara kelas eksperimen yang menerapkan Model ARICT berbasis LMS dan kelas pembanding yang menggunakan pembelajaran digital biasa. Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000, yang berarti $\text{sig} < \alpha$. Hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas pembanding.

Analisis komparasi ganda dilakukan karena hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar kelompok. Uji komparasi ganda menggunakan metode Bonferroni untuk mengetahui kelompok mana yang memiliki peningkatan lebih tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kelas eksperimen Dosen 1 lebih tinggi dibandingkan kelas pembanding, dan kelas eksperimen Dosen 2 juga lebih tinggi dibandingkan kelas pembanding. Temuan ini menegaskan bahwa penerapan Model ARICT berbasis LMS memberikan peningkatan kemampuan *Computational Thinking* yang lebih besar dibandingkan pembelajaran digital biasa yang selama ini diterapkan.

Keefektifan Model ARICT tidak hanya terlihat dari peningkatan skor kuantitatif, tetapi juga dari karakteristik pembelajaran yang menempatkan mahasiswa sebagai problem solver aktif dalam proses eksplorasi, representasi, dan transfer solusi. Pembelajaran digital biasa cenderung berfokus pada penyampaian materi dan penyelesaian tugas, sementara Model ARICT mengintegrasikan konteks autentik (Google Maps), visualisasi matematis (GeoGebra), serta refleksi berbasis LMS yang mendorong keterlibatan mahasiswa dalam membangun struktur berpikir komputasional secara sistematis. Hal ini sejalan dengan penguatan studi terbaru bahwa *Computational Thinking* berkembang lebih optimal melalui pembelajaran berbasis masalah, kolaborasi, dan pemodelan digital yang terstruktur (Hsu et al., 2023b; Kong & Lai, 2022; Shute et al., 2021).

Keunggulan utama ARICT terletak pada desain sintaksnya yang menempatkan mahasiswa sebagai aktor utama dalam membangun struktur berpikir komputasional. Aktivasi konteks nyata melalui Google Maps mendorong mahasiswa memulai pembelajaran dari masalah autentik, sementara penggunaan GeoGebra pada tahap Respond dan Interpret membantu mahasiswa membangun representasi matematis secara visual dan sistematis. Integrasi LMS memperkuat keterhubungan aktivitas sinkron dan asinkron, sehingga mahasiswa dapat merefleksikan proses berpikirnya secara berkelanjutan. Pembelajaran dengan karakteristik seperti ini terbukti lebih efektif dalam membentuk *Computational Thinking* dibandingkan pembelajaran digital biasa yang hanya bersifat informatif (Hsu et al., 2023b; Kong & Lai, 2022). Model ini memberikan kontribusi penting dalam pembelajaran matematika dan komputasi di perguruan tinggi karena mampu

mengintegrasikan konteks autentik, visualisasi digital, serta tahapan berpikir sistematis yang mendukung pengembangan *Computational Thinking* sebagai kompetensi abad ke-21.

5. Diseminasi

Tahap akhir dalam pengembangan model pembelajaran ARICT adalah tahap diseminasi, yang bertujuan untuk memperluas jangkauan penerapan sekaligus memperkuat kontribusi model yang telah dirancang melalui proses validasi dan uji coba lapangan. Diseminasi tidak hanya dimaknai sebagai penyebarluasan hasil penelitian, tetapi juga sebagai bentuk validasi eksternal serta ruang pertukaran gagasan dengan komunitas akademik dan praktisi pendidikan. Dalam konteks pengembangan model ARICT berbasis *Learning Management System* (LMS) untuk meningkatkan *Computational Thinking*, diseminasi dilakukan melalui publikasi ilmiah, forum internasional, serta produk akademik dan legalitas karya.

Diseminasi pertama dilakukan melalui publikasi artikel ilmiah pada jurnal nasional terakreditasi. Hasil penelitian terkait integrasi *Computational Thinking* dalam pembelajaran dipublikasikan pada jurnal Sinta 3 dengan judul “*Integrasi Computational Thinking dalam Pembelajaran: Strategi Pedagogis untuk Mengembangkan Pola Pikir Analitis Peserta Didik*”. Selain itu, penguatan model ARICT juga dipublikasikan pada jurnal Sinta 2 melalui artikel berjudul “*Integration of APOS, RME, and Digital Learning: A Strategic Model to Enhance Computational Thinking*”. Publikasi ini memperluas akses akademik terhadap model ARICT sebagai inovasi pedagogis yang relevan dalam pembelajaran digital, sekaligus menjadi rujukan bagi dosen dan peneliti dalam pengembangan *Computational Thinking* di pendidikan tinggi. Diseminasi berikutnya dilakukan melalui jurnal bereputasi internasional kategori Q3 pada *Multidisciplinary Science Journal* dengan artikel berjudul “*ARICT: An Innovative Learning Model to Enhance Students’ Computational Thinking Using APOS–RME and Digital Learning Integration*”. Publikasi internasional ini memperkuat posisi model ARICT dalam diskursus global mengenai pembelajaran matematika berbasis konstruktivisme dan teknologi digital, khususnya dalam pengembangan keterampilan berpikir komputasional mahasiswa.

Selain publikasi jurnal, diseminasi akademik juga dilakukan melalui forum ilmiah internasional. Artikel berjudul “*Constructivist Digital Learning: Integrating APOS and RME for Computational Thinking Development in Higher Education*” dipresentasikan pada *The 7th International Conference on Teaching and Technology in Education (ICTTE 2025)* dan diterbitkan dalam prosiding konferensi. Forum ini menjadi ruang penting untuk memperoleh umpan balik akademik sekaligus memperluas jejaring kolaborasi penelitian terkait pembelajaran digital dan *Computational Thinking* di perguruan tinggi.

Diseminasi model ARICT juga diperkuat melalui publikasi dalam bentuk buku referensi ber-ISBN dengan judul “*Model Pembelajaran ARICT: Sebuah Kerangka Inovatif untuk Pembelajaran Matematika di Era Digital*”. Buku ini menjadi bentuk kontribusi akademik yang lebih luas karena menyediakan kerangka konseptual dan panduan implementasi model bagi dosen, mahasiswa, serta praktisi pendidikan yang ingin menerapkan pembelajaran matematika berbasis LMS secara lebih terstruktur.

Sebagai bentuk penguatan legalitas dan keberlanjutan inovasi, model ARICT juga telah memperoleh empat Hak Kekayaan Intelektual (HKI), yaitu HKI model pembelajaran, HKI buku referensi, HKI aplikasi pembelajaran pendukung, serta HKI Karya Ilmiah. Kepemilikan HKI ini menunjukkan bahwa model ARICT tidak hanya memiliki kontribusi akademik, tetapi juga memiliki nilai inovasi yang diakui secara formal sebagai produk pengembangan pendidikan berbasis teknologi. Diseminasi ini diharapkan mampu memperkuat posisi model ARICT berbasis LMS sebagai salah satu alternatif pembelajaran inovatif dalam meningkatkan *Computational Thinking* mahasiswa, sekaligus mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 di pendidikan tinggi.

6. Kontribusi Penelitian dan Kebaruan

a. Penguatan Model ARICT terhadap Teori Konstruktivisme

Secara teoritis, model ARICT memberikan penguatan yang relevan terhadap prinsip-prinsip konstruktivisme, yang memandang pembelajaran sebagai proses aktif dalam membangun pengetahuan melalui pengalaman, eksplorasi, dan interaksi bermakna. Dalam perspektif konstruktivisme kognitif (Piaget, 1972), pemahaman berkembang ketika mahasiswa melakukan reorganisasi skema melalui aktivitas

yang menantang struktur berpikir awal mereka. Sintaks ARICT menyediakan ruang bagi mahasiswa untuk membangun konsep matematika secara bertahap melalui konteks autentik, representasi visual, serta penyusunan solusi yang sistematis, sehingga pembelajaran tidak lagi bersifat prosedural tetapi berbasis konstruksi makna. Pendekatan semacam ini sejalan dengan pandangan (Shute et al., 2021) bahwa lingkungan belajar digital yang dirancang berbasis masalah mendorong mahasiswa membangun pemahaman konseptual yang lebih dalam melalui aktivitas pemecahan masalah yang aktif.

Model ARICT juga memperkuat konstruktivisme sosial (Vygotsky, 1978), terutama melalui aktivitas kolaboratif dan scaffolding yang terintegrasi dalam pembelajaran berbasis LMS. Interaksi mahasiswa dalam diskusi kelompok, pemodelan menggunakan GeoGebra, serta refleksi terstruktur melalui LMS menciptakan ruang negosiasi makna yang mendukung perkembangan kemampuan berpikir komputasional. Pembelajaran semacam ini selaras dengan temuan (Shute et al., 2021) yang menekankan bahwa ekosistem pembelajaran digital memperluas konstruksi pengetahuan melalui jejaring interaksi, umpan balik, dan keterhubungan antar ide secara kolektif. Model ARICT juga menunjukkan bahwa pembelajaran digital yang selama ini cenderung bersifat behavioristik yang terbatas pada distribusi materi dan penugasan, dapat ditransformasikan menjadi lingkungan belajar konstruktivistik yang mendorong eksplorasi, diskusi, dan refleksi bermakna melalui pemanfaatan LMS dan tools digital secara pedagogis.

b. Peningkatan Pembelajaran Digital Konvensional melalui Model ARICT Berbasis LMS

Model ARICT memberikan kebaruan dengan memperkuat pembelajaran digital yang selama ini cenderung berfokus pada penyampaian materi dan penyelesaian tugas, menjadi pembelajaran yang lebih terstruktur dalam membangun *Computational Thinking*. Kebaruan tersebut terlihat dalam beberapa aspek utama.

Pertama, konteks masalah pada tahap *Activate Context* tidak hanya berfungsi sebagai ilustrasi awal, tetapi menjadi pemicu berpikir komputasional melalui situasi nyata yang dekat dengan pengalaman mahasiswa, seperti pemodelan perpindahan menggunakan Google Maps. Pendekatan berbasis konteks autentik ini memperkuat

kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi komponen masalah sebelum masuk pada representasi matematis, sejalan dengan studi (Shute et al., 2021) yang menekankan bahwa CT berkembang efektif ketika diawali dari permasalahan dunia nyata yang dapat dimodelkan secara sistematis.

Kedua, proses diskusi dan kolaborasi dalam ARICT berlangsung lebih terarah dibandingkan pembelajaran digital biasa, karena setiap tahapan sintaks mendorong mahasiswa menghasilkan ide, menata struktur konsep, hingga menyusun solusi berbasis representasi formal. Diskusi tidak berhenti pada pertukaran jawaban, tetapi berkembang menjadi aktivitas penalaran komputasional yang melibatkan abstraksi dan representasi. Hal ini sejalan dengan Tikva and Tambouris (2022b) yang menyatakan bahwa CT memerlukan pembelajaran kolaboratif yang terstruktur, bukan sekadar penggunaan teknologi sebagai media penyampaian materi.

Ketiga, sistem pendukung ARICT berbasis LMS memperluas sumber belajar dan mekanisme umpan balik secara lebih sistematis. LMS tidak hanya menjadi ruang distribusi materi, tetapi berfungsi sebagai pusat aktivitas refleksi, diskusi daring, pengelolaan tugas, dan monitoring proses berpikir mahasiswa. Integrasi teknologi digital yang dirancang secara pedagogis seperti ini dinilai lebih efektif dalam mendukung pengembangan CT dibandingkan pembelajaran digital yang bersifat administratif semata (Kong & Lai, 2022). Dengan demikian, penggunaan digital dalam model ARICT bukan merupakan ketergantungan teknis, melainkan berfungsi sebagai penguat kognitif dalam proses matematisasi, visualisasi konsep, serta refleksi berkelanjutan yang tidak sepenuhnya dapat dicapai melalui pembelajaran non digital.

c. Temuan Praktis dan Kebaruan Implementatif Model ARICT

Secara praktis, pengembangan Model ARICT memberikan kontribusi nyata dalam pembelajaran matematika di perguruan tinggi, khususnya dalam mengarahkan mahasiswa agar tidak hanya memahami konsep secara prosedural, tetapi juga membangun cara berpikir yang lebih sistematis dan terstruktur. Pembelajaran matematika melalui ARICT tidak berhenti pada penyelesaian soal, melainkan mendorong mahasiswa untuk menguraikan masalah, membangun representasi yang tepat, serta menyusun solusi secara logis. Kebaruan

implementatif Model ARICT dalam konteks pembelajaran digital dapat dijelaskan melalui beberapa temuan berikut.

1) Pembelajaran matematika yang lebih terarah dan bermakna

Model ARICT menunjukkan bahwa konsep matematika, seperti vektor dan perpindahan, dapat dipelajari melalui pengalaman belajar yang lebih bermakna. Mahasiswa tidak hanya menerima rumus secara abstrak, tetapi diajak memahami ide dasar melalui konteks, diskusi, dan eksplorasi bertahap. Pola pembelajaran semacam ini sejalan dengan pandangan bahwa pemahaman konsep akan lebih kuat ketika mahasiswa terlibat aktif dalam proses membangun makna, bukan sekadar mengikuti prosedur penyelesaian (Tang et al., 2021; Tikva & Tambouris, 2021).

2) Integrasi APOS, RME, dan pembelajaran digital sebagai kekuatan utama ARICT

Kebaruan paling menonjol dari Model ARICT terletak pada integrasi antara kerangka APOS, pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME), dan dukungan pembelajaran digital berbasis LMS. Kombinasi ini membentuk ramuan pedagogis yang ideal karena menyatukan kekuatan konseptual, konteks nyata, dan teknologi pembelajaran dalam satu alur yang saling menguatkan. Melalui APOS, mahasiswa dibimbing membangun konsep secara bertahap, mulai dari tindakan awal, pemrosesan mental, hingga terbentuknya pemahaman yang lebih utuh dalam skema berpikir. Kerangka ini memperkuat pembelajaran matematika agar tidak terfragmentasi, tetapi berkembang secara konseptual (Arnon et al., 2014). Pendekatan RME memperkuat proses tersebut melalui penggunaan konteks autentik sebagai titik awal pembelajaran. Mahasiswa memulai dari situasi nyata sebelum masuk ke representasi formal, sehingga konsep menjadi lebih dekat dengan pengalaman dan lebih mudah dipahami (Tang et al., 2021). Dukungan digital melalui LMS dan GeoGebra kemudian membuat proses belajar lebih fleksibel, interaktif, dan terstruktur. Mahasiswa tidak hanya berdiskusi di kelas, tetapi juga dapat mengeksplorasi model matematis secara visual dan melanjutkan refleksi melalui ruang belajar daring. Temuan ini sejalan dengan penelitian terbaru yang menekankan bahwa integrasi pemodelan digital

mampu memperkaya pembelajaran matematika di pendidikan tinggi (Hsu et al., 2023b; Kong & Lai, 2022). Meskipun demikian, generalisasi temuan ini tidak dibatasi secara konseptual pada konteks perguruan tinggi, karena desain model ARICT berbasis prinsip matematisasi dan perkembangan kognitif bersifat lintas jenjang. Fleksibilitas ini memungkinkan model ARICT diterapkan pada jenjang SMA maupun SMP dengan penyesuaian pada kompleksitas konteks, kedalaman konsep matematis, serta penggunaan teknologi yang diselaraskan dengan tingkat perkembangan kognitif dan literasi digital peserta didik.

3) Peran dosen yang lebih reflektif dan responsif

Model ARICT juga memperkuat transformasi peran dosen. Dosen tidak lagi berperan sebagai penyampai materi utama, melainkan sebagai fasilitator yang memberi scaffolding konseptual dan teknis. Pertanyaan terbuka, umpan balik formatif, serta dukungan aktivitas melalui LMS menjadi bagian penting dalam membantu mahasiswa menata cara berpikirnya secara mandiri. Hal ini selaras dengan temuan (Shute, 2019) bahwa umpan balik yang terstruktur berperan besar dalam pembelajaran digital yang efektif.

4) Pemodelan digital sebagai jembatan dari konteks ke konsep formal

Implementasi ARICT menunjukkan bahwa konteks nyata, seperti penggunaan Google Maps, dapat menjadi pintu masuk yang kuat sebelum mahasiswa membangun struktur matematis menggunakan GeoGebra. Mahasiswa lebih mudah memahami konsep perpindahan karena dapat “melihat” dan memodelkannya secara visual. Proses ini membantu mahasiswa menghubungkan pengalaman konkret dengan representasi formal secara lebih sistematis (Hsu et al., 2023b; Sung & Black, 2021)

5) Diskusi kolaboratif yang memperkuat pemahaman konsep

Sistem sosial pembelajaran dalam ARICT membangun iklim akademik yang dialogis dan kolaboratif. Mahasiswa terdorong untuk menyampaikan ide, menanggapi representasi teman, dan menyusun pemahaman bersama. Interaksi semacam ini memperkaya proses belajar karena pemahaman tidak hanya dibangun secara individual, tetapi juga melalui negosiasi makna dalam komunitas belajar (Brennan & Resnick, 2012).

6) LMS sebagai Platform Pembelajaran *Open Access*

Pengembangan *Learning Management System* (LMS) dalam penelitian ini menjadi luaran penting yang mendukung implementasi pembelajaran secara sistematis dan terintegrasi. LMS tidak hanya berfungsi sebagai media pendukung, tetapi sebagai platform pembelajaran yang dapat digunakan secara mandiri oleh pendidik maupun institusi. Berbeda dengan LMS pada umumnya, sistem ini dirancang untuk mendukung pembelajaran yang interaktif melalui eksplorasi, diskusi, dan refleksi, sehingga tidak hanya berperan sebagai alat administrasi, tetapi juga sebagai ruang belajar yang memperkuat proses kognitif. Selain itu, sifatnya yang *open access* memungkinkan pemanfaatan secara luas tanpa batasan institusional, sehingga menyediakan sarana implementasi yang nyata dan berkelanjutan dalam berbagai konteks pembelajaran digital.

7. Keunggulan dan Keterbatasan Penelitian

Model ARICT memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan dalam perkuliahan matematika. Keunggulan utama model ini terletak pada kemampuannya mengintegrasikan pendekatan konseptual APOS, konteks autentik melalui RME, serta dukungan pembelajaran digital berbasis LMS dalam satu alur sintaks yang terstruktur. Integrasi tersebut membuat pembelajaran tidak hanya berfokus pada penyampaian materi dan penyelesaian tugas, tetapi juga mengarahkan mahasiswa untuk membangun pemahaman matematis secara bertahap melalui eksplorasi, representasi, dan pemodelan. Dengan demikian, proses pembelajaran menjadi lebih bermakna karena mahasiswa terlibat aktif dalam mengonstruksi pengetahuannya sendiri.

Salah satu keunggulan penting Model ARICT adalah penyajian pembelajaran yang lebih kontekstual dan dekat dengan pengalaman mahasiswa. Pembelajaran matematika yang selama ini sering dipersepsikan abstrak dihadirkan melalui situasi nyata sebelum masuk pada representasi formal matematis. Misalnya, mahasiswa diajak memahami konsep perpindahan dan arah gerak menggunakan konteks Google Maps sebelum mempelajari representasi vektor secara formal. Pendekatan

ini sejalan dengan prinsip *Realistic Mathematics Education* yang menekankan bahwa konsep matematika akan lebih mudah dipahami apabila berangkat dari pengalaman yang bermakna bagi mahasiswa (Gravemeijer & Stephan, 2021). Melalui pendekatan tersebut, mahasiswa tidak hanya memahami prosedur matematis, tetapi juga memahami alasan dan makna dari konsep yang dipelajari.

Keunggulan berikutnya terletak pada penguatan struktur berpikir konseptual melalui kerangka APOS. Model ARICT membantu mahasiswa membangun konsep secara bertahap melalui tahapan aksi, proses, objek, hingga skema. Proses pembelajaran semacam ini memungkinkan mahasiswa mengembangkan pemahaman konseptual yang lebih mendalam dibandingkan pembelajaran prosedural. Mahasiswa tidak sekadar menghafal rumus atau langkah penyelesaian, tetapi memahami hubungan antar konsep serta mampu menggunakannya dalam situasi yang berbeda. Pendekatan tersebut dinilai efektif dalam mengurangi miskonsepsi dan memperkuat pemahaman matematika tingkat lanjut, khususnya pada materi yang memiliki tingkat abstraksi tinggi seperti aljabar linear (Arnon et al., 2014; Dubinsky & McDonald, 2020).

Selain itu, Model ARICT juga unggul dalam pemanfaatan teknologi digital sebagai ekosistem pembelajaran terpadu. LMS dalam penelitian ini tidak hanya digunakan sebagai tempat penyimpanan materi, tetapi difungsikan sebagai ruang belajar yang mendukung diskusi daring, pengelolaan tugas, refleksi, serta pemberian umpan balik secara berkelanjutan. Pembelajaran menjadi lebih fleksibel karena mahasiswa dapat mengakses materi dan aktivitas belajar baik di dalam maupun di luar kelas. Dukungan ini turut meningkatkan keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pembelajaran digital yang dipadukan dengan aktivitas reflektif dan pemodelan mampu meningkatkan kualitas pemahaman dan keterlibatan mahasiswa secara signifikan (Hsu et al., 2023b; Kong & Lai, 2022).

Penggunaan GeoGebra sebagai media visualisasi matematis juga menjadi kekuatan tambahan dalam model ini. GeoGebra membantu mahasiswa memvisualisasikan konsep vektor secara dinamis sehingga hubungan antar konsep dapat diamati secara langsung, bukan hanya dibayangkan secara abstrak. Representasi visual tersebut membantu mengurangi beban kognitif mahasiswa

ketika memahami konsep-konsep yang kompleks. Selain itu, dari sisi sistem sosial, Model ARICT membangun suasana pembelajaran yang lebih dialogis dan kolaboratif. Mahasiswa didorong untuk menyampaikan ide, memberikan tanggapan terhadap strategi kelompok lain, serta membangun pemahaman bersama melalui proses diskusi dan refleksi. Lingkungan belajar seperti ini mendukung pembelajaran aktif sekaligus memperkuat kemampuan berpikir kritis dan Computational Thinking mahasiswa.

Disamping memiliki berbagai keunggulan, penelitian ini juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicermati. Salah satu keterbatasan berkaitan dengan implementasi pembelajaran digital yang belum sepenuhnya terintegrasi secara menyeluruh. Dalam penelitian ini, pembelajaran dirancang dalam bentuk blended learning yang memadukan aktivitas daring melalui LMS dan aktivitas luring melalui diskusi kelompok di kelas. Namun, lembar kerja mahasiswa (LKM) yang digunakan dalam proses pembelajaran masih disajikan dalam bentuk cetak. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian aktivitas eksplorasi dan kolaborasi mahasiswa belum sepenuhnya terhubung secara digital dengan ekosistem LMS yang dikembangkan. Dengan kata lain, potensi integrasi penuh antara perangkat pembelajaran digital dan aktivitas belajar mahasiswa masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Keterbatasan berikutnya berkaitan dengan kesiapan literasi digital mahasiswa yang belum merata. Tidak semua mahasiswa memiliki pengalaman yang sama dalam menggunakan LMS maupun perangkat lunak seperti GeoGebra. Pada tahap awal implementasi, dosen masih perlu memberikan scaffolding teknis tambahan agar mahasiswa dapat mengikuti proses pembelajaran dengan optimal. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi model ARICT tidak hanya dipengaruhi oleh desain pembelajaran, tetapi juga oleh kesiapan teknologi dan kemampuan digital pengguna. Tantangan serupa juga ditemukan dalam berbagai penelitian pembelajaran matematika berbasis teknologi di pendidikan tinggi (Dubinsky & McDonald, 2020).

Selain faktor teknologi, model ARICT juga memiliki keterbatasan dalam hal karakteristik materi pembelajaran. Model ini lebih efektif diterapkan pada materi yang memungkinkan eksplorasi konsep, visualisasi, dan keterkaitan dengan

konteks nyata, seperti vektor, transformasi linier, atau pemodelan matematis. Sebaliknya, pada materi yang sangat abstrak dan dominan berbasis pembuktian formal, seperti Analisis Real, Struktur Aljabar, atau pembuktian epsilon-delta dalam kalkulus, implementasi seluruh sintaks ARICT menjadi kurang optimal. Materi-materi tersebut lebih menuntut kemampuan penalaran deduktif formal dan manipulasi simbolik dibandingkan eksplorasi kontekstual. Demikian pula pada materi yang sangat prosedural dan rutin, penggunaan seluruh tahapan ARICT dapat menjadi kurang efisien karena membutuhkan waktu pembelajaran yang relatif lebih panjang dibandingkan capaian kompetensi yang ingin dicapai.

Keterbatasan lain berkaitan dengan ruang lingkup uji coba penelitian yang masih terbatas pada dua kelas dalam satu program studi. Walaupun hasil penelitian menunjukkan peningkatan kemampuan Computational Thinking yang signifikan, generalisasi model ke konteks perguruan tinggi lain masih memerlukan pengujian lanjutan dengan karakteristik mahasiswa, mata kuliah, dan lingkungan pembelajaran yang lebih beragam. Selain itu, implementasi model ARICT juga membutuhkan kompetensi dosen yang memadai dalam memahami teori APOS, konsep matematisasi RME, serta pengelolaan pembelajaran digital. Apabila salah satu aspek tersebut belum dikuasai dengan baik, maka pembelajaran berpotensi kembali menjadi prosedural dan tidak sepenuhnya mendukung proses konstruksi pengetahuan mahasiswa.

Meskipun demikian, keterbatasan tersebut tidak mengurangi kontribusi model ARICT dalam mendukung pembelajaran matematika berbasis digital, melainkan menjadi ruang pengembangan bagi penelitian selanjutnya., melainkan membuka ruang pengembangan bagi penelitian selanjutnya. Peneliti memandang bahwa model ini masih dapat dikembangkan melalui berbagai bentuk adaptasi, misalnya dengan mengintegrasikan pendekatan hybrid, memodifikasi konteks matematisasi untuk materi yang lebih abstrak, atau mengombinasikannya dengan pendekatan lain seperti *problem based learning* dan *inquiry learning*. Penelitian lanjutan juga dapat diarahkan pada pengembangan ARICT untuk materi matematika tingkat lanjut maupun integrasinya dengan teknologi berbasis *artificial intelligence* dan *adaptive learning*. Model ARICT tidak diposisikan sebagai model universal untuk seluruh materi matematika, tetapi sebagai model pembelajaran

yang dirancang terutama untuk mendukung konstruksi konsep, eksplorasi, visualisasi, dan pengembangan Computational Thinking mahasiswa dalam pembelajaran matematika berbasis digital.

BAB V

KESIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian pengembangan model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan RME untuk meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa melalui Model ARICT.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan, implementasi, serta analisis data kuantitatif dan kualitatif yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik model pembelajaran digital berbasis integrasi APOS dan konsep matematisasi RME yang dikembangkan dalam bentuk sintaks ARICT (*Activate Context – Respond with Ideas – Interpret and Structure – Construct Solutions – Transfer and Reflect*) menunjukkan struktur pedagogis yang sistematis, konstruktivistik, dan berbasis konteks nyata. Model ini mengintegrasikan tahapan kognitif APOS dengan proses matematisasi, yaitu pergerakan dari konteks nyata menuju representasi matematis formal melalui matematisasi horizontal dan vertikal, serta didukung oleh teknologi melalui *Learning Management System* (LMS) dan GeoGebra. Setiap tahapan sintaks dirancang untuk mengarahkan proses berpikir mahasiswa secara progresif, mulai dari aktivasi konteks, eksplorasi ide, penataan konsep, konstruksi solusi, hingga refleksi dan transfer. Model ini tidak hanya memanfaatkan teknologi sebagai media, tetapi sebagai lingkungan belajar terstruktur yang secara eksplisit menumbuhkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa.
2. Model pembelajaran ARICT memenuhi kriteria kevalidan. Hal ini ditunjukkan oleh hasil validasi ahli terhadap aspek konstruk, isi, dan bahasa yang berada pada kategori layak hingga sangat layak. Indeks validitas model, media, RPS, LKM, serta instrumen penelitian menunjukkan bahwa seluruh komponen telah sesuai dengan landasan teoretis dan tujuan pembelajaran. Instrumen tes *Computational Thinking* juga terbukti valid dan reliabel, sehingga mampu mengukur peningkatan kemampuan mahasiswa secara

akurat. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi APOS dan konsep matematisasi RME telah terwujud secara konsisten dalam desain dan implementasi model.

3. Model pembelajaran ARICT telah memenuhi kriteria kepraktisan. Hasil uji coba terbatas dan uji coba lapangan menunjukkan bahwa sintaks pembelajaran dapat dilaksanakan secara konsisten, alur pembelajaran mudah dipahami oleh dosen dan mahasiswa, serta integrasi LMS mendukung kelancaran aktivitas pembelajaran. Respons dosen dan mahasiswa berada pada kategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa model ini mudah diterapkan dalam praktik perkuliahan. Kepraktisan ini terlihat dari keterpaduan aktivitas pembelajaran yang secara alami memfasilitasi proses matematisasi dan pengembangan ide mahasiswa.
4. Model pembelajaran ARICT memenuhi kriteria keefektifan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ARICT mampu meningkatkan kemampuan Computational Thinking mahasiswa secara signifikan dibandingkan dengan pembelajaran digital yang selama ini diterapkan. Peningkatan terjadi pada seluruh indikator, yaitu dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, penyusunan solusi algoritmik, dan evaluasi. Nilai N-gain pada kelas eksperimen berada pada kategori tinggi dan berbeda signifikan dari kelas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi APOS dan konsep matematisasi RME dalam model pembelajaran mampu mengarahkan mahasiswa dari pemahaman kontekstual menuju representasi matematis yang lebih formal dan terstruktur.

5.2 Implikasi

Implikasi yang muncul dari penerapan Model ARICT mencakup aspek kebijakan, teori, metodologi, serta praktik pembelajaran digital di perguruan tinggi. Model ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kualitas pembelajaran matematika yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan prosedur, tetapi juga pada pengembangan kemampuan berpikir komputasional mahasiswa sebagai kompetensi kunci abad ke-21.

1. Implikasi Kebijakan dan Praktis

Model ARICT dapat menjadi alternatif strategis dalam penguatan pembelajaran digital di perguruan tinggi, khususnya pada mata kuliah matematika dasar dan lanjutan. Integrasi pendekatan APOS dan RME yang didukung oleh LMS menunjukkan bahwa pembelajaran digital tidak harus terbatas pada penyampaian materi dan penugasan, tetapi dapat diarahkan menjadi proses konstruktif yang mendorong mahasiswa membangun pemahaman melalui eksplorasi konteks nyata, representasi visual, dan refleksi terstruktur. Implikasi ini dapat menjadi dasar bagi institusi pendidikan tinggi untuk mengembangkan kebijakan pembelajaran digital yang lebih bermakna, interaktif, dan berorientasi pada kemampuan berpikir tingkat tinggi.

2. Implikasi Teoritis dan Metodologis

Secara teoritis, Model ARICT memperkuat paradigma konstruktivistik dalam pembelajaran matematika digital melalui integrasi APOS sebagai kerangka pembentukan struktur mental matematis, serta RME sebagai pendekatan kontekstual yang menempatkan pengalaman nyata mahasiswa sebagai titik awal pembelajaran. Model ini memperluas kontribusi teori konstruktivisme dengan menunjukkan bahwa pengembangan *Computational Thinking* dapat berlangsung efektif ketika mahasiswa diarahkan melalui tahapan berpikir sistematis, mulai dari pemaknaan konteks, pengembangan ide, penataan konsep, konstruksi solusi, hingga transfer pemahaman. Dari sisi metodologis, ARICT memberikan sintaks yang operasional dan terstruktur untuk menjembatani pembelajaran matematika konseptual dengan pembelajaran digital berbasis pemodelan dan visualisasi.

3. Implikasi Sosial dan Kultural

Penerapan Model ARICT juga memiliki implikasi sosial dalam menciptakan pembelajaran digital yang lebih inklusif dan adaptif terhadap keberagaman kemampuan mahasiswa. Model ini dirancang dengan sistem sosial kolaboratif yang memungkinkan mahasiswa dengan kemampuan *Computational Thinking* rendah, sedang, maupun tinggi tetap terlibat aktif dalam diskusi, representasi ide, dan penyusunan solusi. Melalui dukungan

LMS, interaksi akademik tidak hanya terjadi dalam ruang kelas tatap muka, tetapi juga diperluas melalui ruang digital yang fleksibel. Hal ini memperkuat pemerataan kesempatan belajar serta membangun budaya akademik yang dialogis dan partisipatif dalam pembelajaran matematika.

4. Implikasi untuk Pengembangan Kurikulum

Model ARICT dapat menjadi rujukan dalam pengembangan kurikulum matematika di perguruan tinggi yang lebih responsif terhadap kebutuhan era digital. Kurikulum tidak hanya menekankan capaian kognitif berbasis materi, tetapi juga mengintegrasikan keterampilan berpikir komputasional melalui pemecahan masalah kontekstual, visualisasi matematis, dan pembelajaran berbasis teknologi. Integrasi APOS–RME–Digital Learning dalam ARICT memberikan kerangka yang relevan untuk mendukung pembelajaran mendalam, mendorong mahasiswa menghubungkan konsep abstrak dengan situasi autentik, serta membangun solusi secara sistematis dan reflektif.

5.3 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, Kesimpulan, dan implikasi yang telah dibahas, berikut adalah saran yang bersifat strategis dan operasional:

1. Pengembangan lembar kerja mahasiswa berbasis digital yang terintegrasi secara langsung dengan *Learning Management System* (LMS) perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya. Integrasi tersebut memungkinkan aktivitas eksplorasi konsep, diskusi kelompok, serta refleksi pembelajaran berlangsung dalam satu ekosistem pembelajaran digital yang lebih terpadu.
2. Perancangan strategi scaffolding literasi digital mahasiswa menjadi aspek penting pada implementasi model pembelajaran berbasis teknologi. Penelitian lanjutan perlu merancang video tutorial penggunaan LMS dan perangkat lunak matematika seperti GeoGebra. Media tutorial berbasis video dapat membantu mahasiswa memahami langkah-langkah penggunaan teknologi pembelajaran secara lebih visual dan mandiri sehingga mendukung implementasi model ARICT secara lebih optimal.
3. Implementasi model ARICT pada konteks pembelajaran yang lebih luas perlu dilakukan untuk memperoleh validasi eksternal yang lebih kuat. Pengujian

model dapat melibatkan jumlah kelas yang lebih besar, program studi yang berbeda, maupun institusi pendidikan tinggi dengan karakteristik mahasiswa yang lebih beragam agar diperoleh gambaran lebih komprehensif mengenai dampaknya terhadap berbagai keterampilan abad ke-21.

4. Penerapan model ARICT pada berbagai materi matematika dengan tingkat abstraksi yang berbeda perlu dikaji lebih lanjut untuk mengetahui konsistensi efektivitas model dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* mahasiswa pada beragam topik pembelajaran matematika.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainsworth, S., & Prain, V. (2020). Students' Learning with Multiple Representations: A Review and Synthesis. *Educational Psychology Review*, 32, 807–838. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09536-1>
- Al-Fraihat, D., Joy, M., & Sinclair, J. (2020). Evaluating E-learning systems success: An empirical study. *Computers in Human Behavior*, 102, 67–86. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.08.004>
- Al-Rahmi, W. M., Yahaya, N., Alturki, U., & Aldraiweesh, A. (2024). Pedagogical strategies in e-learning environments: A conceptual systematic review. *Education and Information Technologies*, 29, 1–25.
- Alenezi, A. M. (2023a). Digital competence and data security considerations in higher education online learning environments. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6891–6908. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11482-z>
- Alenezi, A. M. (2023b). Digital constructivism in higher education: Enhancing reflective and collaborative learning through technology integration. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6891–6908. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11482-z>
- Alenezi, A. M. (2023c). Digital constructivism in higher education: Enhancing reflective and personalized learning through technology integration. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6891–6908. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11482-z>
- Anderson, J. R. (2015). *Cognitive Psychology and Its Implications* (8th ed.). Worth Publishers.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman.
- Angeli, C., & Giannakos, M. (2020). Computational Thinking Education: Issues and Challenges. *Computers in Human Behavior*, 105, 106185. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106185>
- Antasari, R., Sutiarso, S., & Firdaus, F. (2023). Improving mathematics learning outcomes through realistic mathematics education with APOS framework assisted by GeoGebra. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 17(2), 123–136.
- Ardito, C., Buono, P., Caivano, D., Costabile, M. F., & Lanzilotti, R. (2022). Computational Thinking and Educational Technology: A Scoping Review of the Literature. *Education Sciences*, 12(1), 39. <https://doi.org/10.3390/educsci12010039>

- Arends, R. I. (2012). *Learning to Teach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Arikunto, S. (2013). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik* (Revisi). Rineka Cipta.
- Arnawa, I. M., Yerizon, Y., & Nita, S. (2021). Improving students' conceptual understanding in linear algebra through APOS-based learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1742(1), 12043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1742/1/012043>
- Arnon, I., Cottrill, J., Dubinsky, E., Oktac, A., Roa Fuentes, S., Trigueros, M., & Weller, K. (2014). *APOS Theory: A Framework for Research and Curriculum Development in Mathematics Education*. Springer.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of Learning and Motivation*, 2, 89–195.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P. (2012). *The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9454-7>
- Baddeley, A. D. (2012). *Working Memory: Theories, Models, and Controversies*. Psychology Press.
- Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K--12: What is involved and what is the role of the computer science education community? *ACM Inroads*, 2(1), 48–54. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929905>
- Barradas, H., Ribeiro, L., & Teixeira, A. (2024). Problem-based learning in higher education: Effects on analytical thinking and problem-solving skills. *International Journal of Educational Research*, 123, 102310. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2023.102310>
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., & Engelhardt, K. (2016). Developing computational thinking in compulsory education: Implications for policy and practice. *European Journal of Education*, 51(1), 29–45. <https://doi.org/10.1111/ejed.12147>
- Bond, M., Bedenlier, S., Buntins, K., Kerres, M., & Zawacki-Richter, O. (2020). Facilitating Student Engagement in Higher Education through Educational Technology: A Narrative Systematic Review in the Field of Education. *Research in Learning Technology*, 28.
- Bond, M., Bedenlier, S., Marin, V. I., & Handel, M. (2020). Emergency remote teaching in higher education: Mapping the first global online semester. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00282-x>

- Bond, M., Marín, V. I., Dolch, C., Bedenlier, S., & Zawacki-Richter, O. (2020). Digital transformation in higher education: A systematic review of the use of learning management systems. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 1–20.
- Bonk, C. J., & Khoo, E. (2021). *Adding Some TEC-VARIETY: 100+ Activities for Motivating and Retaining Learners Online*. OpenWorldBooks.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (2003). *Educational Research: An Introduction* (7th ed.). Allyn & Bacon.
- Bozkurt, A., & Sharma, R. C. (2021). Emergency remote teaching in a time of global crisis due to coronavirus pandemic. *Asian Journal of Distance Education*, 15(1), i--vi.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School* (Expanded Edition). National Academy Press.
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New Frameworks for Studying and Assessing the Development of Computational Thinking. *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- Brookhart, S. M. (2020). *How to Use Assessment and Grading to Improve Teaching and Learning*. ASCD.
- Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. Harvard University Press.
- Buchbinder, O., & Zaslavsky, O. (2022). Using visual-interactive technology to support iterative reasoning in undergraduate mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 110(2), 321–339. <https://doi.org/10.1007/s10649-022-10145-4>
- Campos Nava, M., Rodríguez, J., & García, P. (2021). Using GeoGebra and MATLAB to enhance students' understanding of linear algebra concepts. *Education Sciences*, 11(9), 523. <https://doi.org/10.3390/educsci11090523>
- Chen, G., Shen, J., Barth-Cohen, L., Jiang, S., Huang, X., & Eltoukhy, M. (2022). Assessing elementary students' computational thinking in everyday reasoning and robotics programming. *Computers & Education*, 179, 104411. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104411>
- Chin, C., & Osborne, J. (2021). Students' Questions and Discursive Interaction: Their Impact on Conceptual Restructuring. *International Journal of Science Education*, 43(2), 167–189. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1865005>
- Choi, W. C., & Choi, I. C. (2024). The Influence and Relationship between Computational Thinking, Learning Motivation, Attitude, and Achievement of Code.org in K-12 Programming Education. *ArXiv*.

- Chu, S. K. W., Reynolds, R. B., & Tavares, N. J. (2020). Digital learning with open educational resources: Effects on student engagement and deep learning. *Computers & Education, 150*, 103842. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103842>
- Creswell, J. W. (2012). *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research* (4th ed.). Pearson Education.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- DeVellis, R. F. (2016). *Scale Development: Theory and Applications* (4th ed.). SAGE Publications.
- Dhawan, S. (2021). Online learning: A panacea in the time of COVID-19 crisis. *Journal of Educational Technology Systems, 49*(1), 5–22. <https://doi.org/10.1177/0047239520934018>
- Dolmans, D. H. J. M., Loyens, S. M. M., Marcq, H., & Gijbels, D. (2019). Problem-based learning: Future challenges for educational practice and research. *Medical Education, 53*(5), 439–447. <https://doi.org/10.1111/medu.13705>
- Doorman, M., Drijvers, P., Dekker, T., den Heuvel-Panhuizen, M., De Lange, J., & Wijers, M. (2021). Problem solving and realistic mathematics education. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (pp. 1–8). Springer.
- Dubinsky, E., & McDonald, M. A. (2001). APOS: A constructivist theory of learning in undergraduate mathematics education research. *The Journal of Mathematical Behavior, 20*(3), 267–281. [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(02\)00096-8](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(02)00096-8)
- Dubinsky, E., & McDonald, M. A. (2020). APOS theory and research in collegiate mathematics education. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education, 6*(2), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s40753-019-00100-5>
- Dunlosky, J., & Metcalfe, J. (2009). *Metacognition*. SAGE Publications.
- Durán, M., Prendes, M. P., & Gutiérrez, I. (2022). Learning management systems in higher education during COVID-19: Adoption, implementation and challenges. *Sustainability, 14*(7), 3922. <https://doi.org/10.3390/su14073922>
- Falkner, N., Vivian, R., & Falkner, K. (2021). Developing computational thinking through problem-solving in mathematics education. *Journal of Educational Computing Research, 59*(4), 693–719. <https://doi.org/10.1177/0735633120931486>

- Farida, A., & Indah, R. P. (2021). Analisis Kesulitan Belajar Aljabar Linear Mahasiswa dalam Pembelajaran Daring. *Jurnal Analisa*, 7(2), 124–134.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). Sage Publications.
- Firdaus, M., Rahmawati, Y., & Nugroho, A. (2019). Ubiquitous learning in digital education: Opportunities and challenges. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(13), 4–16. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i13.10242>
- Firdaus, M., Rahmawati, Y., & Nugroho, A. (2024). Gamification in science education: Enhancing student engagement and participation in digital learning environments. *Journal of Science Education and Technology*, 33(2), 215–229. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10045-7>
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive--Developmental Inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- Fosnot, C. T. (2013). *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice* (2nd ed.). Teachers College Press.
- Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an Educational Task*. Reidel.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education: China Lectures*. Kluwer Academic Publishers.
- Fukui, S., Takahashi, K., & Nakamura, Y. (2023). Technology-supported realistic mathematics education: Enhancing computational thinking through dynamic mathematics software. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00410-3>
- Fukui, S., Takahashi, K., & Nakamura, Y. (2024a). Computational thinking competencies and academic success in technology-related disciplines. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00462-x>
- Fukui, S., Takahashi, K., & Nakamura, Y. (2024b). Integrating digital tools in realistic mathematics education to promote reflective and interactive learning. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00456-9>
- Fukui, T., Yamamoto, K., & Saito, H. (2024). Enhancing computational thinking through digital problem-based learning. *Computers & Education*, 198, 104764.
- Gagné, R. M. (1985). *The Conditions of Learning and Theory of Instruction*. Holt, Rinehart and Winston.

- Gagné, R. M., Wager, W. W., Golas, K. C., & Keller, J. M. (2019). Instructional design principles for effective learning environments. *Performance Improvement*, 58(6), 5–12. <https://doi.org/10.1002/pfi.21863>
- Garrison, D. R., & Vaughan, N. D. (2008). *Blended Learning in Higher Education: Framework, Principles, and Guidelines*. Jossey-Bass.
- George, D., & Mallery, P. (2000). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference*. Allyn & Bacon.
- George, D., & Mallery, P. (2019). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference* (15th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429056765>
- Gerosa, M. A., Bordini, A., & Silva, M. (2021). Computational Thinking Development Through Interdisciplinary Practices. *Education and Information Technologies*, 26, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10353-1>
- González-Pizarro, F., López, C., Vásquez, A., & Castro, C. (2024). Inequalities in Computational Thinking Among Incoming Students in an STEM Chilean University. *ArXiv*.
- Gravemeijer, K. (1994). *Developing Realistic Mathematics Education*. Freudenthal Institute.
- Gravemeijer, K., & Doorman, M. (1999a). Context Problems in Realistic Mathematics Education: A Calculus Course as an Example. *Educational Studies in Mathematics*, 39(1–3), 111–129. <https://doi.org/10.1023/A:1003749919816>
- Gravemeijer, K., & Doorman, M. (1999b). Context problems in realistic mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 39(1–3), 111–129.
- Gravemeijer, K., & Stephan, M. (2021). Designing mathematics education grounded in realistic mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 106(2), 143–158. <https://doi.org/10.1007/s10649-020-10002-3>
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational Thinking in K–12: A Review of the State of the Field. *Educational Researcher*, 42(1), 38–43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051>
- Grover, S., & Pea, R. (2021). Computational Thinking Today. In S. Grover & R. Pea (Eds.), *Computational Thinking in Education* (pp. 1–18). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003102991-2>
- Guo, Y., Li, X., & Zhang, H. (2024). Algorithmic thinking and creativity in digital design education. *Computers & Education*, 201, 104822. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104822>

- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hake, R. R. (1999). *Analyzing Change/Gain Scores*.
- Hammarling, S., & Higham, N. J. (2022). Linear Algebra in Modern Data Science. *SIAM Review*, 64(2), 1–28. <https://doi.org/10.1137/21M141846X>
- Hattie, J., & Donoghue, G. M. (2020). Learning Strategies: A Synthesis and Conceptual Model. *Npj Science of Learning*, 5, 19. <https://doi.org/10.1038/s41539-020-00077-8>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, M. (2020). The difference between emergency remote teaching and online learning. *Educause Review*.
- Hsu, T.-C., Chang, S.-C., & Hung, Y.-T. (2023a). The effectiveness of technology-supported computational thinking instruction: A meta-analysis. *Computers & Education*, 191, 104644.
- Hsu, T.-C., Chang, S.-C., & Hung, Y.-T. (2023b). The Effects of Computational Thinking Instruction on Students' Problem-Solving Performance: A Meta-Analysis. *Computers & Education*, 191, 104646. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104646>
- Jeong, H., Hmelo-Silver, C. E., & Jo, K. (2023). Collaborative Argumentation and Conceptual Understanding in STEM Learning: A Systematic Review. *Educational Research Review*, 38, 100507. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100507>
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14–26. <https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>
- Jonassen, D. H. (1999). Designing Constructivist Learning Environments. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Jordaan, T., Havenga, M., & Mentz, E. (2023). Using GeoGebra to support conceptual understanding in linear algebra. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 54(7), 1583–1601. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2022.2124578>
- Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2016). *Models of Teaching* (9th ed.). Pearson.

- Kaufman, D. (2022). *Learning and Instruction: Theory into Practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89232-1>
- Kim, B., & Reeves, T. C. (2020). Reframing research on learning with technology: In search of the meaning of cognitive tools. *Educational Technology Research and Development*, 68(6), 2973–2992. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-7>
- Kirschner, P. A., & Hendrick, C. (2020). *How Learning Happens: Seminal Works in Educational Psychology and What They Mean in Practice*. Routledge.
- Kivunja, C. (2015). Innovative Pedagogies in Higher Education to Become Effective Teachers of 21st Century Skills. *International Journal of Higher Education*, 6(2), 224–391.
- Kong, S. C., & Lai, M. (2022). Visualising Trends in Computational Thinking Research from 2012 to 2021: A Bibliometric Analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 47, 101224. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101224>
- Kuhfeld, M., Soland, J., Tarasawa, B., Johnson, A., Ruzek, E., & Liu, J. (2022). Projecting the Potential Impact of COVID-19 School Closures on Academic Achievement. *Educational Researcher*, 51(8), 549–565. <https://doi.org/10.3102/0013189X221107297>
- Kwon, O. N., Rasmussen, C., & Allen, K. (2022). Students' Reasoning with Dynamic Representations in Undergraduate Mathematics. *Journal of Mathematical Behavior*, 66, 100945. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2022.100945>
- Lesh, R., & Zawojewski, J. (2020). Problem Solving and Modeling in Mathematics Education: Theoretical Foundations. *ZDM--Mathematics Education*, 52, 123–135. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01118-7>
- Li, Q., Lau, R., & Shih, J.-L. (2020). Collaborative Learning and Student Engagement in Higher Education. *Internet and Higher Education*, 47, 100761. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2020.100761>
- Lisboa, T., Coutinho, C., & Bottentuit Junior, J. B. (2020). Digital Accessibility and Inclusive Education. *Education Sciences*, 10(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/educsci10090245>
- Loyens, S. M. M., Magda, J., & Rikers, R. M. J. P. (2022). Self-Directed Learning in Problem-Based Learning: A Systematic Review. *Educational Psychology Review*, 34, 873–904. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09645-7>
- Maba, W., Widiastuti, I. A. M. S., Mantra, I. B. N., Suartama, I. K., & Sukanadi, N. L. (2023). Learning loss: Impact of the COVID-19 pandemic on the students' psychosocial condition. *Journal of Education and E-Learning Research*, 10(2), 209–214. <https://doi.org/10.20448/jeelr.v10i2.4543>

- Mahmud, Y. (2020). Educational model development: Validation procedures and research design considerations. *Journal of Educational Research and Evaluation*, 4(2), 75–84. <https://doi.org/10.23887/jere.v4i2.24445>
- Mahmudah, & Suryabrata, S. (2020). *Statistika Pendidikan: Teori dan Aplikasi*. Penerbit Universitas Terbuka.
- Martin, F., & Bolliger, D. U. (2021). Engagement Matters: Student Perceptions on Online Learning. *Online Learning*, 25(1), 298–316. <https://doi.org/10.24059/olj.v25i1.2622>
- Martin, F., Sun, T., & Westine, C. D. (2020a). A Systematic Review of Research on Online Teaching and Learning from 2009 to 2018. *Computers & Education*, 159, 104009. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104009>
- Martin, F., Sun, T., & Westine, C. D. (2020b). A systematic review of research on online teaching and learning in higher education. *Educational Technology Research and Development*, 68(3), 1–29.
- Martin, F., Wang, C., & Jokiahho, A. (2020). Faculty readiness for online teaching: A comparison of US and German faculty. *Online Learning Journal*, 24(3), 50–67. <https://doi.org/10.24059/olj.v24i3.2146>
- Mayer, R. E. (2002). *The Promise of Educational Psychology: Vol. II. Teaching for Meaningful Learning*. Prentice Hall.
- Mayer, R. E. (2020a). *Multimedia Learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2020b). Searching for the Role of Emotions in E-Learning. *Learning and Instruction*, 70, 101213. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101213>
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2019). *Conducting Educational Design Research* (2nd ed.). Routledge.
- Means, B., Bakia, M., & Murphy, R. (2021). *Learning Online: What Research Tells Us About Whether, When and How*. Routledge.
- Mercer, N., Wegerif, R., & Major, L. (2020). The Role of Classroom Dialogue in Developing Students' Thinking. *Cambridge Journal of Education*, 50(3), 289–304. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2019.1707510>
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 43–59. <https://doi.org/10.1007/BF02505024>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.

- Mishra, P., Koehler, M. J., & Henriksen, D. (2022). Online learning and the future of education: Implications for 21st century competencies. *Educational Technology Research and Development*, 70(2), 789–804. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10044-5>
- Moore, J. L., Dickson-Deane, C., & Galyen, K. (2011). e-Learning, Online Learning, and Distance Learning Environments: Are They the Same? *Internet and Higher Education*, 14(2), 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2010.10.001>
- Moust, J. H. C., Bouhuijs, P. A. J., & Schmidt, H. G. (2021). The effectiveness of problem-based learning in higher education: A systematic review. *Teaching and Teacher Education*, 105, 103421. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103421>
- Muhammad, A. A., Saper, M. N., Abdullah, A. H., Nor, M. N., & Mahmood, N. H. (2024). Bibliometric Analysis on Computational Thinking in Mathematics Education Research (2017--2022). *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(1), em2317. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14086>
- Nicol, D. J., & Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative Assessment and Self-Regulated Learning: A Model and Seven Principles of Good Feedback Practice. *Studies in Higher Education*, 31(2), 199–218. <https://doi.org/10.1080/03075070600572090>
- Nieveen, N. (1999). Prototyping to Reach Product Quality. In J. van den Akker, R. M. Branch, K. L. Gustafson, N. Nieveen, & T. Plomp (Eds.), *Design Approaches and Tools in Education and Training* (pp. 125–135). Kluwer Academic Publishers.
- Nieveen, N. (2007). Formative Evaluation in Educational Design Research. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *An Introduction to Educational Design Research* (pp. 89–102). SLO -- Netherlands Institute for Curriculum Development.
- Osztian, Z., Kovacs, L., & Fulop, T. (2022). Digital tools in linear algebra education: Effects on conceptual understanding and engagement. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(8), 2103–2120. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1977405>
- Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (2020). Cognitive-load theory: Methods to manage working memory load in the learning of complex tasks. *Current Directions in Psychological Science*, 29(4), 394–398.
- Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8, 422.
- Park, W., & Kwon, H. (2022). Research trends including computational thinking in science and mathematics education in Korea. *Journal of Baltic Science Education*, 21(5), 875–887. <https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.875>

- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. International Universities Press.
- Piaget, J. (1970). *Genetic Epistemology*. Columbia University Press.
- Piaget, J. (1972). *The Psychology of the Child*. Basic Books.
- Picciano, A. G. (2021). *Online Education: Foundations, Planning, and Pedagogy* (3rd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003000642>
- Plomp, T., & Nieveen, N. (Eds.). (2013). *Educational Design Research*. Netherlands Institute for Curriculum Development (SLO).
- Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants. *On the Horizon*, 9(5), 1–6. <https://doi.org/10.1108/10748120110424816>
- Rangkuti, F. (2017). *Statistik Terapan untuk Penelitian Pendidikan*. Penerbit Erlangga.
- Rau, M. A., Alevan, V., & Rummel, N. (2021). Supporting Students' Learning with Multiple Representations: A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, 33, 115–146. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09566-9>
- Redhana, I. W. (2024). Integrating digital technology to enhance students' understanding of vector space concepts. *Jurnal Pendidikan Matematika Indonesia*, 9(1), 15–28. <https://doi.org/10.26737/jpmi.v9i1.5432>
- Reigeluth, C. M., Beatty, B. J., & Myers, R. D. (2017). *Instructional-Design Theories and Models: The Learner-Centered Paradigm of Education*. Routledge.
- Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. *Psychological Science*, 17(3), 249–255.
- Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2022). Standard definition of creativity and its implications for research and practice. *Creativity Research Journal*, 34(1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/10400419.2021.1977812>
- Sangrà, A., Raffaghelli, J. E., & Guitert-Catasús, M. (2021). Learning Ecologies Through a Lens: Ontological, Methodological and Applicative Issues. A Systematic Review of the Literature. *British Journal of Educational Technology*, 52(4), 1663–1684. <https://doi.org/10.1111/bjet.13116>
- Scherer, R., Siddiq, F., & Tondeur, J. (2020). The Technology Acceptance Model (TAM): A Meta-Analytic Structural Equation Modeling Approach in Educational Contexts. *Computers & Education*, 128, 13–35. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.009>
- Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books.

- Schraw, G., Crippen, K. J., & Hartley, K. (2006). Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education*, 36(1–2), 111–139. <https://doi.org/10.1007/s11165-005-3917-8>
- Schunk, D. H. (2020). *Learning Theories: An Educational Perspective* (8th ed.). Pearson.
- Schunk, D. H., & Greene, J. A. (2021). *Handbook of Self-Regulation of Learning and Performance* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315697042>
- Schute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying Computational Thinking. *Educational Research Review*, 22, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference*. Houghton Mifflin.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Shute, V. J. (2019). On the Value of Formative Feedback. In J. M. Spector, B. B. Lockee, & M. D. Childress (Eds.), *Learning, Design, and Technology: An International Compendium of Theory, Research, Practice, and Policy*. Springer.
- Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2021). Measuring computational thinking: Challenges and opportunities. *Educational Research Review*, 33, 100390. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100390>
- Singh, V., & Thurman, A. (2021). How Many Ways Can We Define Online Learning? A Systematic Literature Review of Definitions of Online Learning (1988–2018). *American Journal of Distance Education*, 35(4), 289–306. <https://doi.org/10.1080/08923647.2020.1728434>
- Squire, L. R., & Dede, C. (2015). Consolidation and memory systems. *Neuron*, 85(1), 3–14.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (2nd ed.). Alfabeta.
- Sung, E., & Black, J. B. (2021). The effects of dynamic visualizations on students' understanding of abstract mathematical concepts. *Computers & Education*, 168, 104214. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104214>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2019). *Cognitive Load Theory*. Springer.

- Taherdoost, H. (2018). Validity and reliability of the research instrument: How to test the validation of a questionnaire/survey in a research. *International Journal of Academic Research in Management*, 5(3), 28–36.
- Tang, X., Yin, Y., & Lin, Q. (2021). Developing computational thinking through structured problem-solving in mathematics education. *Journal of Educational Computing Research*, 59(6), 1150–1172. <https://doi.org/10.1177/0735633120987123>
- Tang, X., Yin, Y., Lin, Q., Hadad, R., & Zhai, X. (2020). Assessing Computational Thinking: A Systematic Review of Empirical Studies. *Computers & Education*, 148, 103798. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103798>
- Teristonia, N. L. P., Widiana, I. W., & Bayu, G. W. (2022). Fenomena Learning Loss pada Siswa Sekolah Dasar Pasca Pandemi COVID-19. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(3), 477–487. <https://doi.org/10.23887/jipp.v6i3.57469>
- Tessmer, M. (2013). *Planning and Conducting Formative Evaluations*. Routledge.
- Tikva, C., & Tambouris, E. (2021). Mapping computational thinking through programming in K-12 education: A conceptual model based on a systematic literature review. *Computers & Education*, 162, 104083. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104083>
- Tikva, C., & Tambouris, E. (2022a). Computational thinking in digital learning environments: An experimental study. *Education and Information Technologies*, 27(6), 1–20.
- Tikva, C., & Tambouris, E. (2022b). Mapping Computational Thinking Skills in Higher Education: A Systematic Review. *Education and Information Technologies*, 27, 1885–1915. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10669-5>
- Trigueros, M., & Martínez-Planell, R. (2021). Dynamic Technology and Conceptual Understanding in Linear Algebra Learning. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 52(5), 723–742. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2020.1715515>
- Tuktamyshov, R., & Gorskaya, T. (2024a). Application of APOS theory and realistic mathematics education in digital learning of vector concepts. *Education and Information Technologies*, 29(2), 2153–2172. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11872-4>
- Tuktamyshov, R., & Gorskaya, T. (2024b). Application of APOS theory in teaching linear algebra concepts in digital environments. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 55(2), 345–362. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2023.2251842>
- UNESCO. (2022). *Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education*. UNESCO Publishing.

- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
- Vaicondam, Y., Kannan, M., & Osman, S. (2022). Digital Learning Accessibility and Flexibility in Higher Education. *Education and Information Technologies*, 27, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10702-3>
- Van Wart, M., Ni, A. Y., Medina, P., Canelon, J., & Kordrostami, M. (2021). Integrating Students' Perspectives on Online Learning. *Journal of Public Affairs Education*, 27(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/15236803.2020.1813867>
- Van Zanten, M., & den Heuvel-Panhuizen, M. (2021). Mathematisation in realistic mathematics education: Connecting informal strategies to formal mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 108(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10075-6>
- Veletsianos, G., & Houlden, S. (2022). Radical flexibility and relationality as responses to education in times of crisis. *Distance Education*, 43(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/01587919.2022.2029358>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2020). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 44(2), 425–478. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2020/14406>
- Visschers-Pleijers, A. J. S. F., Dolmans, D. H. J. M., de Leng, B., Wolfhagen, I. H. A. P., & van der Vleuten, C. P. M. (2021). Stimulating meaningful discussion in problem-based learning tutorials. *Advances in Health Sciences Education*, 26(2), 567–585. <https://doi.org/10.1007/s10459-020-09984-5>
- Von Glasersfeld, E. (1989). Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching. *Synthese*, 80(1), 121–140. <https://doi.org/10.1007/BF00869951>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Wang, C.-Y., Gao, B.-L., & Chen, S.-J. (2024). The effects of metacognitive scaffolding of project-based learning environments on students' metacognitive ability and computational thinking. *Education and Information Technologies*, 29(5), 5485–5508. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12022-x>
- Wang, H., & Liu, Q. (2024). Linear dependence and vector space basis in data dimension reduction for information systems. *Information Sciences*, 669, 119986. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.119986>
- Wang, L., Chen, Y., & Zhang, M. (2024). Enhancing abstraction and algorithmic reasoning through computational thinking in mathematics education. *Education and Information Technologies*, 29(4), 4567–4585. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12015-3>

- Weinberg, A., & Thomas, M. (2022). Conceptual challenges in linear algebra and their relationship to critical and computational thinking. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(6), 1345–1362. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1953456>
- Weinstein, Y., Madan, C. R., & Sumeracki, M. A. (2018). Teaching the science of learning. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3(1), 2.
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>
- Weintrop, D., Holbert, N., Horn, M. S., & Wilensky, U. (2021). Computational Thinking in Constructionist Learning Environments. *Educational Psychologist*, 56(2), 84–99. <https://doi.org/10.1080/00461520.2021.1892620>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Wu, Y.-T., & Wu, P.-H. (2024). Preparing teachers for cross-disciplinary computational thinking integration: The role of technology-based professional development. *Education and Information Technologies*, 29(5), 5871–5890. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11895-x>
- Yilmaz, S., & Dündar, S. (2021). Constructing the concept of common divisor through realistic mathematics education analyzed by APOS theory. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 16(3), 1–14.
- Zawacki-Richter, O., Kerres, M., Bedenlier, S., Bond, M., & Buntins, K. (2021). Systematic Reviews in Educational Technology. *Educational Technology Research and Development*, 69, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09862-2>
- Zengin, Y. (2020). The Effects of GeoGebra Software on Students' Mathematics Achievement: A Meta-Analysis. *Education and Information Technologies*, 25, 1547–1567. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10009-2>
- Zhang, X. (2023). Computational thinking as a cognitive tool in mathematics textbook problem solving. *Journal of Curriculum Studies*, 55(4), 612–630. <https://doi.org/10.1080/00220272.2023.2195012>
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a Self-Regulated Learner: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2
- Zimmerman, B. J. (2020). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 59(3), 190–199. <https://doi.org/10.1080/00405841.2020.1747760>