

**MODEL PEMBELAJARAN NEXUS BERBASIS *COLLABORATIVE
COGNITIVE LOAD THEORY* DENGAN PENDEKATAN *FLIPPED
CLASSROOM* UNTUK MENGOPTIMALKAN *COMPUTATIONAL
THINKING SKILLS* MAHASISWA**

DISERTASI

**Disusun untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat Doktor
Program Studi Doktor Pendidikan**



**Oleh : Ardian Asyhari
NPM : 2233031007**

**PROGRAM STUDI DOKTOR PENDIDIKAN
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Disertasi yang berjudul “**Model Pembelajaran Nexus Berbasis *Collaborative Cognitive Load Theory* dengan Pendekatan *Flipped Classroom* untuk Mengoptimalkan *Computational Thinking Skills* 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 di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan (Permendiknas No. 17, Tahun 2010).
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi Disertasi pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seijin dan menyertakan tim pembimbing sebagai author dan FKIP UNILA sebagai Institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya satu semester (enam bulan sejak pengesahan Disertasi) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan Disertasi ini, maka Program Studi Doktor Pendidikan, FKIP UNILA berhak mempublikasikan pada jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Program Studi Doktor Pendidikan, FKIP UNILA. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Bandarlampung, Juli 2025

Yang membuat pernyataan,




Ardian Asyhari
NPM 2233031007

MODEL PEMBELAJARAN NEXUS BERBASIS *COLLABORATIVE COGNITIVE LOAD THEORY* DENGAN PENDEKATAN *FLIPPED CLASSROOM* UNTUK MENGOPTIMALKAN *COMPUTATIONAL THINKING SKILLS* MAHASISWA

DISERTASI

Oleh : **Ardian Asyhari**
NPM : **2233031007**

Komisi
Pembimbing

Nama

Tanda
Tangan

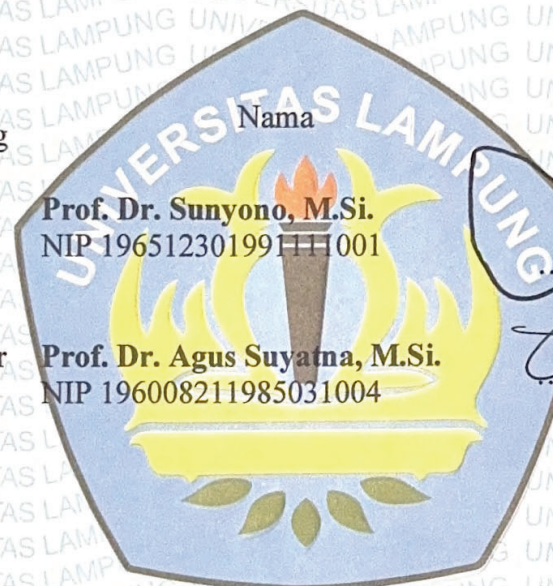
Tanggal

Promotor

Prof. Dr. Sunyono, M.Si.
NIP 196512301991111001

Co-promotor

Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si.
NIP 196008211985031004



Telah dinyatakan memenuhi syarat pada tanggal 19 Mei 2025

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

Hasan Hariri, S. Pd., M.B.A., Ph. D.
NIP 196705212000121001

**MODEL PEMBELAJARAN NEXUS BERBASIS COLLABORATIVE
COGNITIVE LOAD THEORY DENGAN PENDEKATAN FLIPPED
CLASSROOM UNTUK MENGOPTIMALKAN COMPUTATIONAL
THINKING SKILLS MAHASISWA**

DISERTASI

Oleh : Ardian Asyhari
NPM : 2233031007

Tim Penguji

Jabatan

Nama

Tanda

Tanggal

Tangan

Ketua

Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd.
NIP 198705042014041001

 30/6/2025

Sekretaris

Prof. Hasan Hariri, S. Pd., M.B.A., Ph.D.
NIP 196705212000121001

 30/6/2025

Anggota

Prof. Dr. Mohammad Masykuri, M.Si.
NIP 196811241994031001

30/6/2025

Dr. Rangga Firdaus, M.Kom.
NIP 197410102008011015

30/6/2025

Prof. Dr. Sunyono, M.Si.
NIP 196512301991111001

30/6/2025

Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si.
NIP 196008211985031004

 30/6/2025

Telah dipertahankan di depan penguji pada Sidang Tertutup
dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 18 Juni 2025



Dekan FKIP UNILA,

Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd.
NIP 198705042014041001

Koordinator Program Studi Doktor Pendidikan,

Prof. Hasan Hariri, S. Pd., M.B.A., Ph. D.
NIP 196705212000121001

**MODEL PEMBELAJARAN NEXUS BERBASIS COLLABORATIVE
COGNITIVE LOAD THEORY DENGAN PENDEKATAN FLIPPED
CLASSROOM UNTUK MENGOPTIMALKAN COMPUTATIONAL
THINKING SKILLS MAHASISWA**

DISERTASI

Oleh : Ardian Asyhari
NPM : 2233031007

Tim Penguji

Jabatan

Nama

**Tanda
Tangan**

Tanggal

Ketua

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 196403261989021001

Sekretaris

Prof. Hasan Hariri, S. Pd., M.B.A., Ph. D.
NIP 196705212000121001

Anggota

Dr. Riswandi, M.Pd.
NIP 197608082009121001

Prof. Dr. Mohammad Masykuri, M.Si.
NIP 196811241994031001

Dr. Rangga Firdaus, M.Kom.
NIP 197410102008011015

Prof. Dr. Sunyono, M.Si.
NIP 196512301991111001

Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si.
NIP 196008211985031004

Telah dipertahankan di depan penguji pada Sidang Terbuka
dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 15 Juli 2025



Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd
NIP 198705042014041001



Direktur Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 196403261989021001

Tanggal lulus ujian disertasi 15 Juli 2025

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Ardian Asyhari, lahir di Bandarlampung pada tanggal 8 Agustus 1989. Penulis merupakan dosen di Program Studi Pendidikan Fisika UIN Raden Intan Lampung. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Pendidikan Fisika di Universitas Lampung pada tahun 2011, kemudian melanjutkan studi S2 Pendidikan Sains di Universitas Sebelas Maret, lulus pada tahun 2013. Saat ini penulis menempuh program S3 Doktor Pendidikan di Universitas Lampung, dengan tema penelitian “ Model Pembelajaran Nexus Berbasis *Collaborative Cognitive Load Theory* dengan Pendekatan *Flipped Classroom* untuk Mengoptimalkan *Computational Thinking Skills* Mahasiswa.”

Sepanjang perjalanan karir, penulis meminati bidang kajian tentang pembelajaran fisika. Salah satu fokus peta jalan penelitian penulis adalah mengenai pembelajaran Fisika/IPA jarak jauh. Sebagai dosen di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung sejak 2015, penulis aktif mengajar dan membimbing mahasiswa pada mata kuliah Fisika Dasar, Listrik Magnet, dan Rancangan Penelitian. Selain itu, penulis aktif juga aktif sebagai reviewer pada beberapa jurnal nasional dan internasional.

Komitmen penulis dalam pengembangan pendidikan diwujudkan dalam publikasi ilmiah di jurnal ilmiah. Penulis telah menerbitkan berbagai artikel penelitian yang mencakup bidang pembelajaran inovatif berbasis teknologi, pengembangan model pembelajaran kolaboratif, implementasi pembelajaran berbasis proyek, serta integrasi kecakapan abad ke-21 dalam pembelajaran. Selain itu, keahlian penulis di bidang pendidikan juga pernah diapresiasi ketika ditugaskan menjadi salah satu Fasilitator Implementasi Kurikulum Merdeka pada Sekolah Penggerak. Pengalaman tersebut memperkaya wawasan penulis tentang transformasi pendidikan di Indonesia, khususnya dalam implementasi pembelajaran yang berpusat pada peserta didik.

MOTTO

“Merawat ilmu berarti menyemai kesadaran, memperluas wawasan, dan menggugah kebijaksanaan.”

—*Ardian Asyhari*

“The illiterate of the 21st century are not those who cannot read and write, but those who cannot learn, unlearn, and relearn.”

— *Paulo Coelho, Powershift: Knowledge, Wealth, and Power at the Edge of the 21st Century*

PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini dipersembahkan sebagai wujud rasa syukur kepada Allah SWT dan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung perjalanan akademik penulis, antara lain:

1. Mama dan Ayah (Orang Tua) yang selalu membimbing, mendukung, dan mendo'akan keberhasilan dan kelancaran penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Istri dan anak-anak tercinta yang merupakan sumber semangat dalam perjuangan harta, jiwa, dan raga menuju jenjang pendidikan tertinggi S3.
3. Kampus tercinta Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung yang memfasilitasi dan mendukung perjalanan studi penulis.
4. Almamater Universitas Lampung sebagai kampus terbaik yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama menempuh studi.

Ardian Asyhari. 2025. Model Pembelajaran NEXUS Berbasis *Collaborative Cognitive Load Theory* dengan Pendekatan *Flipped Classroom* untuk Mengoptimalkan *Computational Thinking Skills* Mahasiswa. Disertasi. Promotor: Prof. Dr. Sunyono, M.Si. Kopromotor: Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si. Program Studi Doktor Pendidikan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung.

ABSTRAK

Pendidikan tinggi di era digital menuntut mahasiswa memiliki keterampilan berpikir komputasional untuk menghadapi tantangan berbasis teknologi. Namun, pengembangan CTS sering terkendala oleh tingginya beban kognitif dan interaksi kolaboratif yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji efektivitas model pembelajaran NEXUS yang mengintegrasikan *Collaborative Cognitive Load Theory* (CCLT) dengan pendekatan *Flipped Classroom* guna mengoptimalkan CTS mahasiswa pada mata kuliah Fisika Dasar. Metode penelitian yang digunakan adalah *Design and Development Research* dengan desain faktorial $2 \times 2 \times 2$, melibatkan variabel model pembelajaran (NEXUS dan ekspositori), keterampilan kolaborasi (tinggi dan rendah), serta beban kognitif (tinggi dan rendah). Analisis data dilakukan menggunakan ANOVA faktorial, uji lanjut Tukey HSD, serta regresi multivariat untuk mengidentifikasi pola interaksi antar variabel. Hasil validasi isi dan konstruk oleh pakar menunjukkan bahwa model NEXUS valid dengan nilai Aiken's V antara 0.90–0.93. Model ini juga dinilai sangat praktis (rata-rata skor 4.30–4.65 dari skala 5) oleh dosen dan mahasiswa. Secara empiris, hasil penelitian menunjukkan efektivitas signifikan model NEXUS dalam meningkatkan CTS mahasiswa ($F = 253.818$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.920$) dengan dampak tertinggi pada kombinasi kolaborasi tinggi dan beban kognitif rendah ($M = 86.40$; $SD = 4.12$). Analisis regresi multivariat menunjukkan bahwa dimensi konsep, praktik, dan perspektif CTS memiliki sensitivitas berbeda terhadap beban kognitif dan kolaborasi, dengan pengaruh positif signifikan beban kognitif terhadap dimensi perspektif ($B = 0.101$; $p = 0.002$). Implikasi penelitian ini mencakup penguatan teori pembelajaran berbasis kolaborasi dan CCLT, implementasi praktis model NEXUS dalam berbagai mata kuliah STEM, serta rekomendasi kebijakan pengembangan kurikulum berbasis *Flipped Classroom* yang adaptif terhadap beban kognitif mahasiswa.

Kata Kunci: Model NEXUS, Collaborative Cognitive Load Theory, Flipped Classroom, Computational Thinking Skills, Manajemen Beban Kognitif.

Ardian Asyhari. 2025. The NEXUS Learning Model Based on Collaborative Cognitive Load Theory with a Flipped Classroom Approach to Optimize Students' Computational Thinking Skills. Promoter: Prof. Dr. Sunyono, M.Si. Co-Promoter: Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si. Doctoral Program in Education, Faculty of Teacher Training and Education, University of Lampung.

ABSTRACT

Higher education in the digital era demands students possess Computational Thinking Skills (CTS) to address technology-based challenges. However, the development of CTS is frequently hindered by high cognitive load and suboptimal collaborative interactions. This research aims to develop and evaluate the effectiveness of the NEXUS instructional model, integrating Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT) with a Flipped Classroom approach to optimize students' CTS in Fundamental Physics courses. Employing the Design and Development Research method, this study utilized a factorial $2 \times 2 \times 2$ design involving instructional model variables (NEXUS and expository), collaboration skills (high and low), and cognitive load (high and low). Data analysis was conducted using factorial ANOVA, Tukey HSD post-hoc tests, and multivariate regression analysis to identify interaction patterns among variables. Expert validation results confirmed the content and construct validity of the NEXUS model, with Aiken's V values ranging from 0.90 to 0.93. The model was also assessed as highly practical by lecturers and students, achieving average practicality scores between 4.30 and 4.65 on a scale of 5. Empirically, the findings demonstrated significant effectiveness of the NEXUS model in enhancing students' CTS ($F = 253.818$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.920$), with the highest impact occurring under conditions of high collaboration and low cognitive load ($M = 86.40$; $SD = 4.12$). Multivariate regression analysis indicated that the conceptual, practical, and perspective dimensions of CTS exhibited different sensitivities to cognitive load and collaboration, with cognitive load positively and significantly influencing the perspective dimension ($B = 0.101$; $p = 0.002$). The implications of this study encompass theoretical reinforcement of collaborative learning and CCLT, practical implementation of the NEXUS model in various STEM courses, and policy recommendations for developing adaptive, Flipped Classroom-based curricula attentive to students' cognitive load.

Keywords: NEXUS Model, Collaborative Cognitive Load Theory, Flipped Classroom, Computational Thinking Skills, Cognitive Load Management.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi berjudul “Model Pembelajaran NEXUS Berbasis *Collaborative Cognitive Load Theory* dengan Pendekatan *Flipped Classroom* untuk Mengoptimalkan *Computational Thinking Skills* Mahasiswa” ini dengan baik dan lancar. Pengembangan model pembelajaran ini berangkat dari kegelisahan ilmiah terhadap tingginya beban kognitif mahasiswa dalam pembelajaran Fisika Dasar serta rendahnya integrasi strategi pembelajaran adaptif berbasis kolaboratif dan digital. Untuk menjawab tantangan tersebut, disertasi ini memperkenalkan sebuah model pembelajaran inovatif bernama NEXUS yang disusun melalui sintaks *Navigate the Cognitive Prelude, Engage in Learning Dynamics, Xcel through Collaborative Endeavors, Understand and Synthesize*, dan *Step into Learning Progression*, serta dibangun di atas lima karakteristik utama, yaitu metakognitif, kolaboratif, adaptif, teknopedagogis, dan reflektif. NEXUS bukan hanya sebuah sintaks pembelajaran, melainkan juga kerangka kerja pedagogis yang memungkinkan terjadinya proses belajar yang kaya interaksi, mengelola beban kognitif secara adaptif, dan mengasah keterampilan berpikir tingkat tinggi, terutama *Computational Thinking Skills* (CTS) mahasiswa. Dalam model ini, teori *Collaborative Cognitive Load* terintegrasi secara fungsional dengan pendekatan *Flipped Classroom* untuk menciptakan lingkungan belajar yang memungkinkan mahasiswa dari berbagai latar belakang studi untuk tumbuh secara intelektual dan sosial melalui aktivitas pembelajaran yang bermakna.

Disertasi ini lahir dari proses perenungan dan perjalanan akademik yang cukup panjang. Keberhasilan dalam menyelesaikan disertasi ini tentunya tidak terlepas dari dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis menghaturkan ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM. ASEAN., Eng., Rektor yang telah memfasilitasi dan bertanggung jawab atas proses kegiatan akademik di lingkungan Universitas Lampung.

2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., Direktur Pascasarjana yang telah memfasilitasi dan mendukung penyelenggaraan proses akademik di lingkungan Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd., Dekan yang telah memfasilitasi dan bertanggung jawab atas proses kegiatan akademik di lingkungan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung.
4. Prof. Hasan Hariri, S. Pd., M.B.A., Ph. D., Ketua Program Studi Doktor Pendidikan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung dan sekaligus sebagai pembimbing akademik yang telah menginspirasi, mengarahkan, dan memotivasi.
5. Prof. Dr. Sunyono, M.Si., Promotor, atas segala bimbingan yang cermat, penuh kesabaran, serta komitmen luar biasa dalam mengarahkan penulis sejak awal penyusunan gagasan hingga penyelesaian disertasi ini.
6. Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si., Co-Promotor, atas kontribusi pemikiran, arahan kritis, dan motivasi kuat yang sangat membantu penajaman kerangka teori dan metodologi dalam disertasi ini.
7. Para validator buku model pembelajaran dan instrumen penelitian: Prof. Dr. Parmin, M.Pd., Dr. Achmad Samsudin, M.Si., Prof. Dr. Yuberti, M.Pd., Dr. M. N. Hudha, M.Pd., dan R. Ahmad Zaky El Islami, Ph.D.
8. Para dosen mitra penelitian: Irwandani, M.Pd., Yani Suryani, M.Pd., Ade Lenti Hoya, M.Ling., Dimas Permadi, M.Pd., dan Nurlaila Rajabiah, M.Sc. yang telah mendukung dan memfasilitasi terlaksananya penelitian ini.
9. Semua pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, tetapi saya ingin menyatakan bahwa bantuan dan dukungan Anda semua sangat dihargai di sini.

Kami menyadari bahwa disertasi ini belum sempurna dan menyisakan ruang yang luas untuk perbaikan. Oleh karena itu, penulis selalu mengharapkan saran dan kritik untuk menyempurnakan disertasi ini. Semoga karya sederhana ini bermanfaat dan bernilai bagi dunia pendidikan. Aamiin.

Bandar Lampung, Juli 2025
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN TERTUTUP.....	iii
RIWAYAT HIDUP	v
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	13
C. Pembatasan Masalah	14
D. Rumusan Masalah	16
E. Tujuan Penelitian.....	16
F. Manfaat Penelitian.....	17
G. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan.....	18
H. Asumsi Pengembangan	19
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR.....	20
A. Kajian Pustaka	20
1. Arsitektur Kognitif Manusia	20
a. Memori Kerja	20
b. Memori Jangka Panjang.....	22
2. Teori Beban Kognitif (<i>Cognitive Load Theory</i>).....	24

a. Sejarah dan Perkembangan <i>Cognitive Load Theory</i>	24
b. Jenis Beban Kognitif	26
3. <i>Collaborative Cognitive Load Theory</i> (CCLT).....	27
a. Dasar Teoretis CCLT	27
b. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kolaborasi Efektif.....	29
c. Strategi Menerapkan CCLT dalam Pengajaran.....	30
4. Teori Kognitif dari Pembelajaran Multi Media.....	32
a. Tiga Asumsi Dasar Teori Kognitif Multimedia Pembelajaran	32
b. Lima Langkah dalam Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia	35
c. Tiga Jenis Beban Kognitif Dalam Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia	37
5. Teori Pembelajaran Kolaboratif <i>Online</i>	38
a. Proses Triadik dalam Collaborativism (dikenal juga sebagai OCL).....	39
6. <i>Flipped Classroom</i>	41
a. Sejarah dan Perkembangan Flipped Classroom	41
b. Proses dan Struktur Pembelajaran <i>Flipped Classroom</i>	43
c. Kelebihan dan Kekurangan <i>Flipped Classroom</i>	44
7. <i>Computational Thinking Skills</i> (CTS)	46
a. Definisi dan Komponen Utama CTS	46
b. Evaluasi CTS Mahasiswa: Metode dan Instrumen	49
c. Unplugged and Plugged Computational Thinking di Perguruan Tinggi	
51	
8. Integrasi CCLT, <i>Flipped Classroom</i> , dan CTS.....	55
a. Penggabungan Konsep CCLT, <i>Flipped Classroom</i> , dan CTS	55
b. Penerapan Integrasi dalam Perkuliahan Fisika Dasar	56
c. Dampak Integrasi terhadap Peningkatan CTS Mahasiswa	57
9. Kajian Penelitian yang Relevan	58
a. Penelitian Terkait Cognitive Load Theory (CLT) dan Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT).....	58
b. Penelitian Terkait Flipped Classroom	62
c. Penelitian Terkait Computational Thinking Skills (CTS)	65

B. Kerangka Berpikir.....	68
BAB III METODE PENELITIAN	71
A. Jenis Penelitian	71
B. Prosedur Penelitian.....	71
1. Penilaian Kebutuhan (<i>Need Assessment</i>)	73
2. Konseptualisasi Teori Khusus untuk Pengaturan (<i>Theory</i> <i>Conceptualization Specific to Setting</i>): Literature review.....	75
3. Pengembangan Produk (<i>Product Development</i>): Pengembangan model Pembelajaran Nexus.....	80
4. Implementasi Model dan Uji Coba (Model Implementation and Test)	88
5. Tindak lanjut model pembelajaran yang dikembangkan dan Penyempurnaan (<i>Program Follow-up and Refinement</i>)	104
C. Relasi Instrumen, Teknik Pengumpulan Data, dan Analisis dalam Menjawab Rumusan Penelitian.....	106
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	110
A. Hasil Penelitian	110
1. Deskripsi Hasil Penilaian Kebutuhan.....	110
a. Deskripsi Hasil Wawancara dengan Dosen	110
b. Deskripsi Hasil Wawancara dengan Mahasiswa	114
c. Deskripsi Hasil Observasi.....	117
d. Deskripsi Hasil Analisis Dokumen.....	121
2. Deskripsi Hasil Konseptualisasi Teori Khusus untuk Pengaturan (<i>Theory Conceptualization Specific to Setting</i>): Literature review	126
a. Deskripsi Hasil Studi Literature untuk Artikel dengan Tema Pembelajaran Kolaboratif dan Beban Kognitif	126
b. Deskripsi Hasil Studi Literature untuk Artikel dengan Tema Integrasi Teknologi dalam Pembelajaran Fisika	130
c. Deskripsi Hasil Studi Literature untuk Artikel dengan Tema Pembelajaran Berbasis Proyek (PBL).....	135

d.	Deskripsi Hasil Studi Literature untuk Artikel dengan Tema Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis dan Komputasional	141
e.	Deskripsi Hasil Studi Literature untuk Artikel dengan Tema Evaluasi Berbasis Proyek dan Kolaborasi.....	147
f.	Hasil Studi Literature untuk Artikel dengan Tema <i>Flipped Classroom</i> dalam Pembelajaran Fisika	152
3.	Deskripsi Hasil Pengembangan Produk (<i>Product Development</i>): Pengembangan model	156
a.	Model Pembelajaran	156
1)	Karakteristik model Pembelajaran yang dikembangkan	156
2)	Sintaks model pembelajaran	158
3)	Support System: Sistem Pendukung Pembelajaran	160
4)	<i>Social System</i> : Suasana dan Norma Pembelajaran	167
5)	<i>Principles of Reaction</i> : Panduan Guru dalam Merespons Mahasiswa	168
6)	<i>Instructional and Nurturant Effects</i> : Hasil Pembelajaran	168
a.	Hasil Validasi Model Pembelajaran	169
1)	Hasil Validasi Isi.....	169
2)	Hasil Validasi Konstruk Nexus Learning Model.....	170
b.	Perangkat Pembelajaran Model Pembelajaran Nexus	173
1)	Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan Learning Management System (LMS).....	173
2)	Hasil Validasi Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan Learning Management System (LMS)	182
c.	Pengembangan Instrumen Penilaian.....	186
1)	Deskripsi Hasil Penyusunan Konstruk dan Definisi Operasional Variabel.....	186
2)	Deskripsi Hasil Penyusunan Kisi-Kisi Instrumen dan Menyusun Butir Soal	187

3)	Deskripsi Hasil Validasi Isi oleh Ahli Terhadap Instrumen Penilaian	189
4)	Deskripsi Hasil Validasi Konstruk Instrumen Penilaian oleh Ahli	191
5)	Deskripsi Hasil Uji Coba Instrumen dan Analisis Butir.....	195
d.	Hasil Uji Coba Terbatas.....	205
e.	Revisi (Perbaikan)	207
4.	Deskripsi Hasil Implementasi Model dan Uji Coba.....	215
a.	Analisis Keterlaksanaan Sintaks Model Pembelajaran.....	215
b.	Analisis Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa...	218
1)	Prodi Sitem Informasi.....	218
2)	Prodi Pendidikan Biologi.....	220
3)	Prodi Biologi (Sains)	222
c.	Hasil Uji Statistik.....	224
1)	Deskriptif Keterampilan Berpikir Komputasi	224
2)	Hasil uji prasyarat normalitas dan homogenitas untuk keterampilan berpikir komputasi	226
3)	Hasil uji Tests of Between-Subjects Effects (Hasil Uji Hipotesis).....	228
4)	Uji Lanjut untuk Interaksi Kelas * Keterampilan Kolaborasi	232
5)	Uji Lanjut untuk Interaksi Beban Kognitif * Keterampilan Kolaborasi.....	234
6)	Uji Lanjut untuk Interaksi Kelas * Beban Kognitif * Keterampilan Kolaborasi	236
7)	Hasil uji untuk mengetahui Interelasi Dimensi CTS	239
a)	Hasil Uji Multivariat.....	239
b)	Hasil Uji Univariat (Tests of Between-Subjects Effects)	240
c)	Hasil Estimasi Parameter Regresi.....	241
5.	Deskripsi Hasil Tindak Lanjut Model Pembelajaran yang dikembangkan dan Penyempurnaan.....	244
a.	Hasil Observasi	244

b. Hasil Wawancara	246
c. Triangulasi dan Sintesis Data	249
B. Pembahasan	250
1. Karakteristik Model Pembelajaran Nexus.....	251
2. Kelayakan Model Pembelajaran Nexus	266
a. Validitas Isi dan Konstruk	267
b. Kepraktisan Model dalam Implementasi	270
c. Efektivitas Model dalam Mengembangkan <i>Computational Thinking Skills</i>	274
3. Pola Keterampilan Berpikir Komputasional (CTS)	276
a. Interaksi Antar Dimensi CTS	276
b. Pengaruh Beban Kognitif terhadap Dimensi Perspektif CTS.....	278
c. Keterampilan Kolaborasi dan Dampaknya terhadap Dimensi Perspektif.....	280
4. Analisis Komparatif Model Pembelajaran NEXUS dengan Ekspositori	283
5. Kelebihan dan Keterbatasan Model Pembelajaran Nexus	286
BAB V. SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN	299
A. Simpulan.....	299
B. Implikasi.....	301
C. Saran.....	304
DAFTAR PUSTAKA.....	307

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Model Baddley-Hitch tentang Memory Kerja	20
Gambar 2.2. Model Baddley tentang memori kerja dengan tambahan buffer episodik	21
Gambar 2.3. Taksonomi memori jangka panjang	23
Gambar 2.4. Model Kognitif Pembelajaran Multimedia	33
Gambar 2.5. Saluran auditori/verbal (bingkai atas) dan saluran visual/piktorial (bingkai bawah) dalam teori kognitif pembelajaran multimedia.	35
Gambar 2.6. Tiga Fase Intelektual dari Kolaborativisme	41
Gambar 2.7. Kerangka Berpikir Disertasi	69
Gambar 2.8. Kerangka Berpikir Disertasi (lanjutan)	70
Gambar 3.9. Diagram desain evaluasi metode campuran (Mixed Methods Evaluation Design) Adaptasi dari Creswell dan Creswell (2023)	94
Gambar 3.10. Langkah-langkah Adaptasi Desain Instruksional oleh Dick et al. (2015) dan tahapan serta aktivitas Penelitian Pengembangan Sunyono (2014)	81
Gambar 3.11. Desain Penelitian untuk Uji Coba Terbatas	86
Gambar 4.12. Model Hipotetik Nexus Learning Model	160
Gambar 4.13. Tampilan halaman beranda LMS	162
Gambar 4.14. Fitur Leaderboard	163
Gambar 4.15. Forum Diskusi	164
Gambar 4.16. Kelompok Kolaboratif	164
Gambar 4.17. Fitur manajemen kursus	165
Gambar 4.18. Profil Mahasiswa dan Sistem Penghargaan	166
Gambar 4.19. Fitur News Feed	167
Gambar 4.20. Gambaran Umum	175
Gambar 4.21. Capaian Pembelajaran	175
Gambar 4.22. Panduan Cara Belajar dengan LMS	176
Gambar 4.23. Materi Pembelajaran	176

Gambar 4.24. Diskusi Brainstoriming	177
Gambar 4.25. Perancangan Kerja Proyek Kolaboratif	177
Gambar 4.26. Pengantar Kerja Proyek Kolaboratif.....	178
Gambar 4.27. Kerja Proyek Kolaboratif.....	178
Gambar 4.28. Presentasi Hasil Eksperimen.....	179
Gambar 4.29. Refleksi Individu.....	179
Gambar 4.30. Refleksi Tim.....	180
Gambar 4.31. Kuis Inovasi	180
Gambar 4.32. Diskusi Potensi Aplikasi.....	181
Gambar 4.33. Rencana Belajar Mandiri	181
Gambar 4.34. Visualisasi Validitas Konstruk Instrumen Angket Beban Kognitif	198
Gambar 4.35. Struktur Validitas Konstruk Instrumen Angket Keterampilan Kolaborasi	201
Gambar 4.36. Diagram Struktur Validitas Konstruk dan Metrik Model Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi.....	204
Gambar 4.37. Hasil Revisi Model Hipotetik Pembelajaran Nexus	205
Gambar 4.38. Tampilan Leaderboard	210
Gambar 4.39. Laporan Individual.....	211
Gambar 4.40. Fitur Unggah Peta Konsep	212
Gambar 4.41. Mahasiswa Menggunakan Simulasi.....	213
Gambar 4.42. Mahasiswa menggunakan simulasi dari OPhysics	214

DAFTAR TABEL

Table 2.1. Tiga Asumsi dari Pembelajaran Kognitif Multimedia.....	33
Table 2.2. Tiga Jenis Beban Kognitif	37
Table 2.3. Keterangan dari Dimensi CT dan Komponen Keterampilan untuk Setiap Dimensi	48
Table 3.4. Langkah-langkah teknik analisis data observasi.....	75
Table 3.5. Skala Kriteria Observasi	75
Table 3.6. Tabel Integrasi Data: Tahap Penilaian Kebutuhan dan Tahap Konseptualisasi Teori	79
Table 3.7. Kriteria validasi ahli	85
Table 3.8. Kategori Penilaian Kepraktisan Model.....	87
Table 3.9. Kategori Penilaian Keterlaksanaan Sintaks	89
Table 3.10. Kategori Penilaian Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa	89
Table 3.11. Desain pretest-posttest control group design	90
Table 3.12. Desain Faktorial Uji Coba Luas	91
Table 3.13. Taraf Interpretasi F_0	100
Table 3.14. Interpretasi Koefisien Korelasi	105
Table 3.15. Relasi Instrumen, Teknik Pengumpulan Data, dan Analisis dalam Menjawab Rumusan Penelitian	107
Table 4.16. Hasil Kodifikasi Tematik Wawancara Dosen.....	110
Table 4.17. Hasil Kodifikasi Tematik Wawancara Mahasiswa.....	114
Table 4.18. Analisis Dokumen Perkuliahan Fisika Dasar	121
Table 4.19. Tema-tema Kajian Literatur Berdasarkan Hasil Analisis Tahapan Penilaian Kebutuhan.....	125
Table 4.20. Kajian Literatur tentang Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT)	126
Table 4.21. Kajian Literatur tentang Tema Integrasi Teknologi dalam Pembelajaran Fisika	131

Table 4.22. Kajian Literatur Project-Based Learning (PBL) dalam Pembelajaran Fisika	135
Table 4.23. Kajian Literatur Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis dan Komputasional.....	142
Table 4.24. Kajian Literatur akan strategi asesmen berbasis proyek dan kolaborasi	148
Table 4.25. Kajian Literatur Penerapan Flipped Classroom dalam Pembelajaran Fisika	152
Table 4.26. Sintaks Model Pembelajaran Nexus	158
Table 4.27. Hasil Validasi Isi Nexus Learning Model	169
Table 4.28. Hasil Validasi Konstruk Nexus Learning Model.....	171
Table 4.29. Saran Perbaikan Berdasarkan Validasi Ahli terhadap Isi dan Konstruk Nexus Learning Model.....	172
Table 4.30. Hasil Validasi Isi Rencana Pembelajaran Semester	182
Table 4.31. Hasil Validasi Konstruk Rencana Pembelajaran Semester	183
Table 4.32. Hasil Validasi Isi Learning Management System	183
Table 4.33. Hasil Validasi Konstruk Learning Management System.....	184
Table 4.34. Komentar dan Saran Validator untuk Rencana Pembelajaran Semester (RPS)	184
Table 4.35. Komentar dan Saran Validator untuk Learning Management System (LMS)	185
Table 4.36. Konstruk dan Definisi Operasional Variabel.....	186
Table 4.37. Kisi-Kisi Instrumen untuk CTS.....	187
Table 4.38. Kisi-Kisi Instrumen untuk Keterampilan Kolaboratif.....	187
Table 4.39. Kisi-Kisi Instrumen untuk Beban Kognitif.....	188
Table 4.40. Data Hasil Validasi Isi Instrumen Angket Beban Kognitif.....	189
Table 4.41. Data Hasil Validasi Isi Instrumen Keterampilan Kolaborasi	190
Table 4.42. Data Hasil Validasi Isi Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi (CTS)	191
Table 4.43. Data Hasil Validasi Konstruk Instrumen Tes Beban Kognitif	191

Table 4.44. Data Hasil Validasi Konstruk Instrumen Tes Keterampilan Kolaborasi	192
Table 4.45. Data Hasil Validasi Konstruk Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi	193
Table 4.46. Saran Perbaikan Berdasarkan Validasi Ahli terhadap Isi Instrumen Penilaian	193
Table 4.47. Hasil Analisis Kecukupan Sampel Instrumen Angket Beban Kognitif	195
Table 4.48. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen Angket Beban Kognitif.....	196
Table 4.49. Hasil Validitas Konstruk Instrumen Beban Kognitif.....	196
Table 4.50. Metrik Kecocokan Model Instrumen Angket Beban Kognitif	197
Table 4.51. Hasil Analisis Kecukupan Sampel Instrumen Angket Keterampilan Kolaborasi	199
Table 4.52. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen Angket Keterampilan Kolaborasi .	199
Table 4.53. Hasil Validitas Konstruk Instrumen Angket Keterampilan Kolaborasi	200
Table 4.54. Metrik Kecocokan Model Instrumen Angket Keterampilan Kolaborasi	200
Table 4.55. Hasil Analisis Kecukupan Sampel Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi	202
Table 4.56. Hasil Reliabilitas Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi	202
Table 4.57. Validitas Konstruk Berdasarkan Faktor untuk Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi	203
Table 4.58. Metrik Kecocokan Model Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi	204
Table 4.59. Penilaian Kepraktisan Model Pembelajaran.....	206
Table 4.60. Wawancara Mahasiswa Mengenai Keunggulan Model Nexus	206
Table 4.61. Rekomendasi Revisi LMS	207
Table 4.62. Rata-Rata Keterlaksanaan Sintaks Model Pembelajaran.....	215

Table 4.63. Rata-Rata Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa di Prodi Sistem Informasi	218
Table 4.64. Rata-Rata Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa di Prodi Pendidikan Biologi	220
Table 4.65. Rata-Rata Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa di Prodi Biologi (Sains)	222
Table 4.66. Statistik Deskriptif Keterampilan Berpikir Komputasi	224
Table 4.67. Hasil Uji Prasyarat Normalitas dan Homogenitas Keterampilan Berpikir Komputasi dengan Statistik Deskriptif	226
Table 4.68. Hasil Analisis Tests of Between-Subjects Effects	228
Table 4.69. Hasil Uji Interaksi Kelas * Keterampilan Kolaborasi dengan t-Test	233
Table 4.70. Hasil Uji Interaksi Beban Kognitif * Keterampilan Kolaborasi dengan Anova	234
Table 4.71. Hasil Uji Interaksi Kelas * Beban Kognitif * Keterampilan Kolaborasi dengan Anova Tiga Jalan	236
Table 4.72. Korelasi Antar Dimensi CTS dengan Analisis Multivariate Multiple Regression	240
Table 4.73. Hasil Observasi Mahasiswa dalam Tindak Lanjut dan Penyempurnaan Model Pembelajaran NEXUS Berbasis CCLT	244
Table 4.74. Analisis tematik hasil wawancara mahasiswa dari Program Studi Sistem Informasi, Biologi, dan Pendidikan Biologi	246

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Observasi Proses Pembelajaran di Universitas Lampung, Universitas Muhammadiyah Metro, dan UIN Raden Intan Lampung	323
Lampiran 2. Format Instrumen dan Rubrik Observasi Kelas Tahap Need Assessment	324
Lampiran 3. Hasil Wawancara Dosen	328
Lampiran 4. Data Hasil Validasi Isi Instrumen Angket Beban Kognitif	337
Lampiran 5. Data Hasil Validasi Isi Instrumen Keterampilan Kolaborasi.....	338
Lampiran 6. Data Hasil Validasi Isi Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Komputasi.....	339
Lampiran 7. Data Hasil Validasi Konstruk Instrumen Tes Angket Beban Kognitif	340
Lampiran 8. Data Hasil Validasi Konstruk Instrumen Tes Angket Keterampilan Kolaborasi.....	341
Lampiran 9. Data Hasil Validasi Konstruk Instrumen Tes Angket Keterampilan Kolaborasi.....	342
Lampiran 10. Data Hasil Validasi Isi Model Pembelajaran Nexus	343
Lampiran 11. Data Hasil Validasi Konstruk Model Pembelajaran Nexus	345
Lampiran 12. Data Hasil Validasi Isi Rencana Pembelajaran Semester (RPS)...	346
Lampiran 13. Data Hasil Validasi Konstruk Rencana Pembelajaran Semester (RPS)	348
Lampiran 14. Data Hasil Validasi Isi Learning Management System (LMS).....	349
Lampiran 15. Data Hasil Validasi Konstruk Learning Management System (LMS)	351
Lampiran 16. Hasil Pengujian Instrumen Angket Beban Kognitif.....	353
Lampiran 17. Hasil Pengujian Instrumen Angket Keterampilan Kolaborasi	355
Lampiran 18. Hasil Pengujian Instrumen Tes Berpikir Komputasi.....	358
Lampiran 19. Keterlaksanaan Sintaks Model Pembelajaran	360

Lampiran 20. Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa Prodi Sistem Informasi.....	363
Lampiran 21. Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa Prodi Pendidikan Biologi	365
Lampiran 22. Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa Prodi Biologi (Sains).....	367
Lampiran 23. Nilai/Kategori Beban Kognitif Kelas Eksperimen.....	370
Lampiran 24. Nilai/Kategori Beban Kognitif Kelas Kontrol	373
Lampiran 25. Nilai/Kategori Keterampilan Kolaborasi Kelas Eksperimen	376
Lampiran 26. Nilai/Kategori Keterampilan Kolaborasi Kelas Kontrol.....	379
Lampiran 27. Nilai/Kategori Keterampilan Berpikir Komputasi Kelas Eksperimen	382
Lampiran 28. Nilai/Kategori Keterampilan Berpikir Komputasi Kelas Kontrol.....	385
Lampiran 29. Statistik Deskriptif dan Uji Prasyarat.....	388
Lampiran 30. Uji Two Way Anova dan Uji Lanjut.....	392
Lampiran 31. Instrumen Observasi untuk Mahasiswa dalam Tindak Lanjut dan Penyempurnaan Model Pembelajaran NEXUS Berbasis CCLT	408
Lampiran 32. Hasil Observasi Mahasiswa Prodi Sistem Informasi dalam Tindak Lanjut dan Penyempurnaan Model Pembelajaran NEXUS Berbasis CCLT	409
Lampiran 33. Hasil Observasi Mahasiswa Prodi Biologi - Sains dalam Tindak Lanjut dan Penyempurnaan Model Pembelajaran NEXUS Berbasis CCLT	411
Lampiran 34. Hasil Observasi Mahasiswa Prodi Pendidikan Biologi dalam Tindak Lanjut dan Penyempurnaan Model Pembelajaran NEXUS Berbasis CCLT	412
Lampiran 35. Instrumen Wawancara Mahasiswa.....	414
Lampiran 36. Hasil Wawancara Mahasiswa Prodi Sistem Informasi tentang Pengalaman dan Tanggapan terhadap Model NEXUS Berbasis CCLT	415

Lampiran 37. Hasil Wawancara Mahasiswa Prodi Biologi (Sains) tentang Pengalaman dan Tanggapan terhadap Model NEXUS Berbasis CCLT	416
Lampiran 38. Hasil Wawancara Mahasiswa Prodi Pendidikan Biologi tentang Pengalaman dan Tanggapan terhadap Model NEXUS Berbasis CCLT	418
Lampiran 39. Buku Model.....	420

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Keterampilan berpikir merupakan kemampuan yang sangat penting bagi manusia dalam menghadapi berbagai tantangan dan permasalahan di era globalisasi saat ini. Tornero (2017) menjelaskan bahwa kemampuan untuk berpikir secara kritis, analitis, dan kreatif akan memungkinkan seseorang untuk menghadapi berbagai tantangan dan permasalahan yang muncul. Begitu juga Comfort dan Wukich (2013) dan Orhan (2022) yang senada dalam menjelaskan bahwa keterampilan berpikir yang baik akan membantu seseorang untuk mengambil keputusan yang tepat, mengatasi hambatan, dan mencapai tujuan yang diinginkan. Oleh karena itu, penting bagi setiap individu untuk mengembangkan dan meningkatkan keterampilan berpikir mereka agar dapat bersaing di dunia yang semakin kompleks dan dinamis ini.

Beberapa ahli mengatakan bahwa keterampilan berpikir tidaklah dimiliki secara alami oleh manusia sejak lahir (Kek & Huijser, 2011; Samaras et al., 2022; Wang & Li, 2022). Wang & Li (2022) menjelaskan bahwa keterampilan berpikir merupakan sesuatu yang harus diperoleh dan dikembangkan melalui pengalaman, pelatihan, dan pembelajaran yang berkelanjutan. Meskipun manusia memiliki kemampuan dasar untuk berpikir, keterampilan berpikir yang kompleks seperti analisis, sintesis, dan evaluasi membutuhkan latihan dan pemahaman yang mendalam (Kek & Huijser, 2011). Oleh karena itu, individu perlu mengasah kemampuan berpikir mereka dengan melibatkan diri dalam aktivitas yang menantang intelektual, seperti membaca buku, berdiskusi dengan orang lain, dan memecahkan masalah secara sistematis (Samaras et al., 2022). Proses belajar ini dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti lingkungan sosial budaya, pengalaman pribadi dan perkembangan kognitif.

Perkembangan kognitif merupakan salah satu aspek penting dalam pengembangan manusia (Dhuey et al., 2019; Gros Lambert & Mahon, 2006). Proses ini melibatkan bagaimana individu memproses informasi, membangun

pengetahuan, dan menggunakan bahasa. Perkembangan kognitif juga erat kaitannya dengan perkembangan otak dan sistem saraf (Posner et al., 2005). Oleh karena itu, pemahaman yang lebih mendalam mengenai perkembangan kognitif sangatlah penting dalam menjelaskan bagaimana manusia berinteraksi dengan dunia di sekitarnya.

Banyak teori yang telah dikemukakan oleh para ahli untuk menjelaskan perkembangan kognitif manusia. Salah satu teori yang paling terkenal adalah teori perkembangan kognitif Jean Piaget (Pozdniakov & Dagienė, 2018). Teori ini mengemukakan bahwa ada empat tahapan perkembangan kognitif yang dialami oleh manusia sejak bayi hingga dewasa: tahap sensorimotor (0-2 tahun), tahap praoperasional (2-7 tahun), tahap operasional konkret (7-11 tahun) dan tahap operasional formal (11 tahun ke atas). Setiap tahapan memiliki ciri-ciri tersendiri dalam cara berpikir dan belajar (Hinde & Perry, 2007).

Teori lain yang juga populer adalah teori konstruktivisme sosial Lev Vygotsky (Kozulin, 2015). Teori ini menekankan bahwa perkembangan kognitif manusia dipengaruhi oleh interaksi sosial dengan orang lain yang lebih kompeten atau ahli dalam suatu bidang. Interaksi sosial ini dapat memberikan bantuan atau *scaffolding* kepada individu untuk mencapai tingkat pemahaman yang lebih tinggi daripada yang dapat dicapai sendiri. Selain itu, ada juga teori-teori lain yang mencoba menjelaskan aspek-aspek tertentu dari perkembangan kognitif manusia. Misalnya, teori *multiple intelligences* Howard Gardner (Gardner, 1993, 2020) yang mengklasifikasikan delapan jenis kecerdasan manusia: linguistik, logis-matematis, spasial, musikal, kinestetik, interpersonal, intrapersonal dan naturalis. Atau teori belajar generatif Robert Gagne (Gagné, 1987) yang mengidentifikasi sembilan jenis hasil belajar: informasi verbal, keterampilan intelektual, strategi kognitif, keterampilan motorik, sikap, pengetahuan deklaratif, pengetahuan prosedural, pengetahuan skema dan pengetahuan kontekstual.

Teori-teori yang telah dibahas sebelumnya, seperti perkembangan kognitif oleh Jean Piaget, konstruktivisme sosial oleh Lev Vygotsky, *multiple intelligences* oleh Howard Gardner, dan belajar generatif oleh Robert Gagne sangatlah menunjang pembahasan keterampilan berpikir. Dalam perkembangan kognitif

manusia, teori-teori tersebut menekankan pentingnya interaksi sosial, pemahaman terhadap variasi kecerdasan manusia, serta jenis-jenis hasil belajar yang dapat dicapai. Namun, hanya dengan memiliki pengetahuan dan pemahaman tentang teori-teori tersebut tidaklah cukup untuk meningkatkan keterampilan berpikir (Howard & Sarbaum, 2022).

Dalam lingkup pendidikan tinggi, terdapat beberapa faktor yang berperan dalam meningkatkan keterampilan berpikir mahasiswa, seperti lingkungan belajar (Avcı & Durak, 2023), metode pembelajaran (Hursen, 2021), serta keaktifan mahasiswa dalam memperdalam pengetahuan dan keterampilan (Fitriani et al., 2021; Hasan et al., 2019). Namun, penelitian oleh Hart et al. (2021) dan Mahdi et al. (2020) menunjukkan bahwa banyak mahasiswa yang belum memiliki keterampilan berpikir yang memadai untuk menghadapi dunia yang terus berkembang. Terdapat kesenjangan dalam pendidikan tinggi yang menyebabkan keterampilan berpikir mahasiswa tidak berkembang secara optimal (Apriwanda & Hanri, 2022; Aurelia, 2021; Castleman & Meyer, 2019; Dilekçi & Karatay, 2023; Li & Zhang, 2013; Rahman, 2021; Wahidin & Romli, 2020). Kesenjangan dalam pendidikan tinggi di Indonesia terkait dengan kualitas pengajaran yang tidak merata di seluruh perguruan tinggi (Apriwanda & Hanri, 2022). Beberapa perguruan tinggi juga kurang mampu memfasilitasi mahasiswa dengan baik, sehingga mereka kurang terlatih dalam mengembangkan keterampilan berpikir yang optimal (Aurelia, 2021). Kurikulum yang tidak sesuai dengan kebutuhan dunia kerja juga dapat menjadi penyebab rendahnya keterampilan berpikir mahasiswa (Dilekçi & Karatay, 2023). Selain itu, sistem evaluasi yang kurang objektif dapat mempengaruhi mahasiswa untuk memprioritaskan pencapaian nilai daripada pengembangan keterampilan berpikir (Wahidin & Romli, 2020). Kesulitan finansial yang dihadapi mahasiswa juga dapat mempengaruhi kemampuan mereka dalam mengakses sumber daya yang diperlukan untuk mengembangkan keterampilan berpikir (Castleman & Meyer, 2019). Penelitian oleh Rahman (2021) menunjukkan bahwa keterbatasan tenaga pengajar yang berkualitas dan berpengalaman di Indonesia juga dapat mempengaruhi pengembangan keterampilan berpikir mahasiswa. Terakhir, Li & Zhang (2013) menambahkan

bahwa kurangnya kesempatan bagi mahasiswa untuk berpartisipasi dalam kegiatan ekstrakurikuler dan praktik lapangan juga dapat membatasi pengembangan keterampilan berpikir mereka.

Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan keterampilan berpikir mahasiswa di perguruan tinggi. Salah satu cara untuk melakukannya adalah dengan mengintegrasikan keterampilan berpikir dalam kurikulum dan pembelajaran di perguruan tinggi (Cammarata, 2016; Edwards & Evans, 2020; Lim, 2012). Kurikulum dan pembelajaran harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk berpikir secara kritis, kreatif, logis, reflektif, dan kolaboratif dalam konteks disiplin ilmu maupun lintas disiplin.

Jenis keterampilan berpikir yang semakin relevan dan dibutuhkan di era digital saat ini salah satunya adalah keterampilan berpikir komputasional atau *computational thinking skills* (CTS) (Gao & Hew, 2022; Khine, 2018; Su & Yang, 2023; Wing, 2006; Zhang, 2020). CTS pertama kali diperkenalkan oleh Wing (2006), yaitu keterampilan dalam pemecahan masalah dan analisis data yang melibatkan pemikiran logis dan algoritma, serta penggunaan teknologi dan pemrograman untuk menghasilkan solusi yang efektif dan efisien. Keterampilan ini melibatkan konsep-konsep seperti dekomposisi, pola, abstraksi, algoritma, otomatisasi, dan lain sebagainya (Gao & Hew, 2022). CTS menjadi semakin penting dalam berbagai bidang, terutama di bidang ilmu komputer, matematika, sains, teknologi, dan bisnis (Khine, 2018), dan kini pendidikan (Angeli & Giannakos, 2020; Kang et al., 2022; Lora, 2020; Oyelere et al., 2022; Weller et al., 2022; Yadav et al., 2011; Yadav & Berthelsen, 2021).

CTS menjadi semakin penting dalam menghadapi revolusi industri 4.0 dan era *society* 5.0 (Gerber et al., 2021). Teknologi yang semakin maju memerlukan pemahaman tentang bagaimana teknologi bekerja dan bagaimana cara memanfaatkannya secara efektif (Jocius et al., 2021). Sebagai tambahan, Christensen (2023) menyatakan bahwa dengan mengembangkan CTS, individu dapat mengatasi masalah yang kompleks, menganalisis data, dan membuat keputusan yang tepat.

Penerapan teknologi digital dalam pendidikan untuk menghadapi revolusi industri 4.0 dan era society 5.0 (Alvarez-Cedillo et al., 2019; Fajrussalam et al., 2020; Ydyrysbayev et al., 2022), telah memberikan banyak manfaat, salah satunya adalah pembelajaran berbasis komputer yang mendukung kolaborasi (Hirai, Shuichi & Lee, Mei Han, 2020; Sajidan et al., 2022). Siswa dapat belajar mandiri dan berkolaborasi dengan teman-teman mereka, sementara pembelajaran terdistribusi dan secara digital memungkinkan mereka untuk belajar dari jarak jauh (Hirai, Shuichi & Lee, Mei Han, 2020). Teknologi pembelajaran yang ditingkatkan juga membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengajaran (Sajidan et al., 2022).

Terdapat dua pendekatan yang sedang tumbuh bersama dan saling melengkapi terkait dengan penggunaan teknologi dalam pengajaran dan pembelajaran, yaitu konsep *flipped classroom* dan *cognitive load theory* (CLT) (Abeysekera & Dawson, 2015; de Leng & Pawelka, 2021; Turan & Goktas, 2016). Keduanya memiliki peran penting dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran. *Flipped classroom* memungkinkan fokus pembelajaran berpindah dari pengajar ke siswa (Turan & Goktas, 2016), sementara CLT membantu meminimalkan beban kognitif siswa dalam proses pembelajaran (de Leng & Pawelka, 2021). Dengan memanfaatkan kedua pendekatan ini, teknologi dapat membantu menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif dan efisien bagi mahasiswa (Abeysekera & Dawson, 2015).

Pendekatan pembelajaran *flipped classroom* telah menjadi populer dan menarik perhatian di dunia pendidikan tinggi (Reidsema, 2017). Bahkan Lundin et al. (2018) dan Zain (2022) menemukan sebagian besar penelitian yang mengkaji tentang pedagogi *flipped classroom* dilakukan di lingkungan perguruan tinggi. Pendekatan ini ditandai dengan penggunaan aktivitas pembelajaran kelompok interaktif di dalam kelas, ditambah dengan instruksi individu yang disampaikan melalui platform digital di luar kelas (Waldrop & Bowdon, 2016). Menurut Liu & Zhang (2022), tujuannya adalah untuk mengalihkan fokus dari pengajar ke peserta didik dan mengoptimalkan pengalaman belajar. Sebagai tambahan, Almasseri dan AlHojailan (2019) mengatakan bahwa manfaat pembelajaran *flipped classroom*

sangat beragam, termasuk pembelajaran berbasis teman sejawat, kesempatan kerja sama yang lebih baik, kreativitas yang lebih tinggi, interaksi antara siswa yang lebih banyak, motivasi yang lebih besar, dan pembelajaran yang lebih personal dan fleksibel. Meskipun banyak penelitian tentang dampak instruksi *flipped classroom* pada kinerja akademik siswa, potensi efek dari pendekatan ini pada keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa, terutama CTS, masih belum banyak diteliti.

Proses pembelajaran, pada intinya melibatkan kemampuan memori (Paas & van Merriënboer, 2020; Redifer et al., 2019; Zheng & Gardner, 2020). Tanpa kemampuan memori, kita tidak akan bisa mengingat apa yang telah dipelajari dalam satu hari atau satu bulan yang lalu (Zheng & Gardner, 2020). Pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya tidak dapat menginformasikan pembelajaran kita pada saat ini maupun di masa depan (Paas & van Merriënboer, 2020). Sehingga, kita akan terdampar di tengah-tengah tanpa memiliki dasar pengetahuan yang kuat (Redifer et al., 2019).

Konsep *cognitive load theory* (CLT) dapat membantu memahami mengapa kemampuan memori sangat penting dalam proses pembelajaran (Chen et al., 2018; Sweller et al., 2011). Menurut teori ini, ada tiga jenis beban kognitif yang harus dikelola oleh otak manusia: beban kognitif intrinsik, beban kognitif ekstrinsik, dan beban kognitif erat (*germane*). Beban kognitif intrinsik adalah beban yang terkait dengan kompleksitas materi itu sendiri, sedangkan beban kognitif ekstrinsik adalah beban yang terkait dengan cara materi tersebut disajikan, dan sedangkan yang terakhir, beban kognitif erat adalah beban langsung yang diinvestasikan dalam pembelajaran; Namun, karena pemikiran ulang yang lebih baru, sekarang dianggap sebagai sumber daya erat yang dikhususkan untuk sifat intrinsik dari bahan belajar (Sweller, 1988, 1994, 2016).

Teori ini juga menjelaskan bahwa kapasitas memori manusia terbatas, dan kelebihan beban kognitif dapat mempengaruhi pembelajaran. Oleh karena itu, guru perlu mempertimbangkan tingkat kesulitan pembelajaran dan cara presentasi materi agar siswa tidak mengalami *overload* informasi yang dapat mengganggu kemampuan memori mereka (Sweller, 2016). Guru juga dapat menggunakan strategi pembelajaran yang membantu mengurangi beban kognitif, seperti

menggabungkan materi yang berhubungan, memberikan contoh konkret, dan menggunakan pengulangan dalam proses pembelajaran (Anmarkrud et al., 2019). Dengan menggunakan konsep CLT dalam proses pembelajaran, siswa dapat memperoleh pengetahuan dengan lebih efektif dan efisien (Cai & Gu, 2019; Janssen & Kirschner, 2020a; Wasfy et al., 2021).

Dalam konsep *flipped classroom*, CLT dapat diterapkan dengan memberikan materi yang sesuai dengan tingkat pemahaman siswa (Almasseri & AlHojailan, 2019; Gong et al., 2020; Lora, 2020; Turan & Goktas, 2016). Hal ini dapat dilakukan dengan memberikan materi yang terstruktur dengan baik dan disajikan dengan jelas sehingga siswa dapat memproses informasi dengan lebih mudah (Turan & Goktas, 2016). Selain itu, dengan memberikan materi sebelum pertemuan kelas, siswa dapat mempersiapkan diri dengan lebih baik dan mengurangi beban kognitif ekstrinsik di kelas (Gong et al., 2020). Sehingga dalam proses pembelajaran, siswa dapat berpartisipasi secara aktif dan memperdalam pemahaman mereka tentang materi yang dipelajari (Lora, 2020). Dengan mengoptimalkan waktu di kelas untuk diskusi dan penerapan praktis, siswa dapat memperkuat keterampilan mereka dan mengurangi beban kognitif intrinsik (Almasseri & AlHojailan, 2019).

Namun, dalam perkembangannya, CLT mengalami evolusi dan menghasilkan *collaborative cognitive load theory* (CCLT) (Cai & Gu, 2019; Janssen & Kirschner, 2020a; Kirschner et al., 2018; Retnowati et al., 2017, 2018). Konsep ini mengakui pentingnya interaksi sosial dalam proses pembelajaran dan menekankan peran kolaborasi dalam mengurangi beban kognitif (Kirschner et al., 2018). Dalam CCLT, siswa bekerja sama dalam kelompok kecil atau pasangan untuk menyelesaikan tugas-tugas yang menantang secara kognitif (Janssen & Kirschner, 2020). Dalam proses ini, siswa dapat saling berbagi pengetahuan dan pengalaman, serta saling membantu dalam memecahkan masalah (Janssen & Kirschner, 2020; Retnowati et al., 2018). Tujuan dari CCLT adalah untuk memaksimalkan hasil belajar siswa dan memperkuat keterampilan mereka dalam bekerja sama dan berkolaborasi (Cai & Gu, 2019; Kirschner et al., 2018). Dengan

menerapkan CCLT, siswa dapat mengembangkan kemampuan sosial dan kognitif mereka, serta meningkatkan kualitas pembelajaran secara keseluruhan.

Penelitian oleh Janssen dan Kirschner (2020) juga menjelaskan bahwa CCLT dapat membantu meningkatkan motivasi dan kepercayaan diri siswa. Dalam lingkungan yang kolaboratif, baik dengan menggunakan teknologi ataupun tidak, siswa dapat merasa lebih nyaman untuk berbicara dan berinteraksi dengan teman sekelasnya. Hal ini dapat membantu meningkatkan rasa percaya diri dan kemauan siswa untuk belajar lebih lanjut. Selain itu, dengan memecahkan masalah bersama-sama, siswa juga dapat merasakan kepuasan dan prestasi yang meningkat. Sebagai tambahan, Kirschner et al. (2018) menjelaskan bahwa CCLT juga dapat membantu meningkatkan keterampilan sosial siswa. Dalam lingkungan yang kolaboratif, siswa dapat belajar bagaimana bekerja dalam tim, berkomunikasi dengan jelas dan efektif, serta memahami perspektif orang lain. Hal ini sangat penting dalam persiapan siswa untuk bekerja dalam lingkungan kerja yang global dan multikultural.

Meskipun telah dikembangkan banyak teori dan pendekatan serta terdapat banyak bukti yang menunjukkan manfaat penggunaan teknologi dalam konteks pendidikan dalam konteks pembelajaran dan pengajaran (Gause et al., 2022; Hegedus et al., 2016; Owens, 2012; Saide & Sheng, 2021; Sampson et al., 2018; Sitthiworachart et al., 2022; Umugiraneza et al., 2018), namun masih diperlukan pemahaman yang lebih mendalam tentang kontribusi teknologi dalam pengajaran dan pembelajaran yang lebih efektif, serta bukti yang lebih jelas bagaimana teknologi harus digunakan secara efektif dan efisien dalam konteks pembelajaran tertentu, seperti perkuliahan fisika dasar. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan model pembelajaran yang dapat dijadikan sebagai *prototype* teori (De Cecco, 1968) yang lebih terintegrasi dan holistik untuk memahami bagaimana teknologi memengaruhi proses belajar dan pembelajaran (Parsons et al., 2019). Selain itu, terdapat juga kebutuhan dalam memahami bagaimana teknologi dapat membantu dalam membangun CTS (Angeli & Giannakos, 2020) yang menjadi semakin penting di era digital saat ini. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan dan pengembangan teori dan model yang lebih terintegrasi dan holistik untuk

memperdalam pemahaman tentang penggunaan teknologi secara efektif dan efisien dalam konteks pembelajaran dan pengajaran fisika dasar.

Penggunaan teknologi digital dalam pendidikan telah menciptakan peluang untuk mengembangkan pendekatan pembelajaran baru yang lebih interaktif, kolaboratif, dan adaptif. *Flipped classroom* dan *collaborative cognitive load theory* (CCLT) adalah dua pendekatan yang memanfaatkan teknologi digital dalam pendidikan dan memungkinkan pengajaran yang lebih efektif. *Flipped classroom* membalikkan tradisi pengajaran di mana siswa belajar konsep dan materi baru di kelas dan melakukan tugas di rumah. Dalam *flipped classroom*, siswa belajar konsep dan materi baru di rumah melalui video, artikel, atau sumber daya *online* lainnya, dan menggunakan waktu kelas untuk mendiskusikan, menerapkan, dan memperdalam pemahaman mereka melalui tugas-tugas yang difasilitasi oleh guru. Di sisi lain, CCLT adalah pendekatan pembelajaran berbasis kolaborasi yang menekankan pada pengurangan beban kognitif siswa melalui pengaturan tugas-tugas dan interaksi yang dirancang secara strategis. CCLT mengajarkan siswa untuk bekerja sama dalam memecahkan masalah dengan cara yang efisien dan efektif, sambil meminimalkan beban kognitif individu yang dapat membebani proses pembelajaran.

Namun, terdapat kesenjangan teori-praktik dalam implementasi kedua pendekatan ini, terutama dalam kaitannya dengan *computational thinking skills* (CTS). Meskipun banyak studi yang menunjukkan manfaat *flipped classroom* dan CCLT (Cai & Gu, 2019; Janssen & Kirschner, 2020b; Kirschner et al., 2018; Retnowati, 2013), ada kekurangan dalam teori yang menjelaskan mengapa dan bagaimana kedua pendekatan ini berfungsi. Dalam hal *flipped classroom*, ada kurangnya pemahaman tentang bagaimana cara pengajaran yang dibalik ini mempengaruhi proses belajar dan bagaimana efektivitasnya dapat ditingkatkan. Di sisi lain, dalam hal CCLT, masih ada pertanyaan tentang bagaimana mengimplementasikan pembelajaran yang dirancang secara kolaboratif dalam kelas, dan apakah pendekatan ini dapat diterapkan secara efektif dalam lingkungan pendidikan yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak penelitian dan pengembangan *prototype* teori yang dapat membantu mengisi kesenjangan ini dan

memberikan panduan yang lebih jelas untuk implementasi *flipped classroom* dan CCLT pada perguruan tinggi. Dalam penelitian ini, CTS menjadi fokus utama sebagai pemberi kontribusi penting dengan menyediakan kerangka kerja dan bahasa yang konsisten untuk memodelkan dan memecahkan masalah secara sistematis dan efektif.

Peneliti juga mengidentifikasi adanya kesenjangan teoritis yang nyata dalam penelitian sebelumnya mengenai integrasi *flipped classroom* dan *collaborative cognitive load theory* (CCLT) dengan *computational thinking skills* (CTS) dalam konteks pendidikan tinggi. Jarangnya pembahasan tentang CCLT untuk meningkatkan CTS, dan penelitian yang ada saat ini merupakan hasil dari kesenjangan teori ini. Beberapa teori sebelumnya juga penting dan akan menjadi dasar rujukan, seperti *cognitive load theory* dan prinsip-prinsip *computational thinking*. Namun, investigasi dalam hal integrasi dan pengembangan teoritis dasar rujukan tadi tetap diperlukan.

Investigasi terhadap integrasi *flipped classroom*, CCLT, dan CTS sangat penting karena dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap pengembangan CTS mahasiswa dan praktik pembelajaran yang inovatif dan adaptif pada pendidikan tinggi. Model teoritis sebelumnya akan digabungkan dengan penelitian-penelitian terbaru dalam CTS, *flipped classroom*, dan bidang terkait untuk memberikan dasar teori yang lebih kuat bagi disertasi ini. Teori sebelumnya cenderung fokus pada proses kognitif individu, namun penelitian terbaru menunjukkan bahwa pembelajaran yang efektif melibatkan kolaborasi, interaksi sosial, dan faktor kontekstual. Integrasi antara *flipped classroom* dan CCLT dengan CTS dapat membantu mengatasi kekurangan teori sebelumnya dengan menekankan pada kolaborasi dan interaksi sosial. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, model pembelajaran yang dihasilkan diharapkan dapat lebih efektif dalam mengembangkan CTS mahasiswa dalam konteks yang kompleks dan berubah-ubah seperti saat ini. Oleh karena itu, investigasi lebih lanjut tentang integrasi ini penting untuk meningkatkan pemahaman dan pengembangan praktik pembelajaran yang efektif di masa depan.

Berdasarkan hasil survei yang melibatkan dosen dan mahasiswa (dari 3 Perguruan tinggi) dalam menghadapi pendekatan *Flipped Classroom* untuk meningkatkan *Computational Thinking Skills* (CTS) pada perkuliahan Fisika Dasar, beberapa temuan penting yang dapat memperkuat latar belakang disertasi ini ditemukan.

Pertama, terkait dengan pemahaman dan perspektif dosen dan mahasiswa mengenai *Flipped Classroom* dan CTS, sebagian besar dosen dan mahasiswa menunjukkan pemahaman yang baik tentang konsep dasar *Flipped Classroom* dan CTS. Meskipun demikian, beberapa dosen dan mahasiswa masih merasa perlu untuk meningkatkan pengetahuan mereka mengenai implementasi yang efektif dari kedua konsep tersebut, khususnya dalam konteks perkuliahan Fisika Dasar (pertanyaan 1-10).

Kedua, mengenai kesiapan infrastruktur dan dukungan teknologi dalam implementasi *Flipped Classroom*, ditemukan bahwa sebagian besar responden menilai bahwa perguruan tinggi telah menyediakan fasilitas yang memadai, seperti akses internet, perangkat komputer, dan ruang belajar yang kondusif. Namun, beberapa responden mengungkapkan kekhawatiran tentang ketersediaan dan kualitas sumber belajar digital, seperti video dan materi interaktif, yang sesuai dengan kurikulum Fisika Dasar (pertanyaan 11-20).

Ketiga, terkait dengan kesiapan dosen dan mahasiswa dalam mengadaptasi peran baru dalam *Flipped Classroom*, sebagian besar dosen mengakui perlunya pengembangan profesional dalam mendesain dan mengimplementasikan pembelajaran dengan *Flipped Classroom* yang efektif. Sementara itu, mahasiswa juga menyatakan kesiapan mereka untuk lebih aktif dalam proses belajar mengajar dan bekerja sama dengan teman-teman dalam kegiatan diskusi dan pemecahan masalah (pertanyaan 21-30).

Keempat, dalam hal pengembangan dan evaluasi CTS, dosen dan mahasiswa menyadari pentingnya integrasi CTS dalam kurikulum Fisika Dasar dan menyatakan bahwa mereka memerlukan panduan dan dukungan untuk mengembangkan dan menilai kemampuan berpikir komputasi (pertanyaan 31-40).

Kelima, mengenai tantangan dan hambatan dalam implementasi *Flipped Classroom* dan pengembangan CTS, beberapa dosen dan mahasiswa mengungkapkan kekhawatiran tentang beban kerja yang meningkat, kesulitan dalam mengelola waktu, dan adaptasi dengan metode pembelajaran yang baru. Mereka juga menyoroti pentingnya dukungan institusi dan kolaborasi antara dosen, mahasiswa, dan staf pendukung dalam mengatasi tantangan tersebut (pertanyaan 41-50).

Dari hasil survei ini, dapat disimpulkan bahwa meskipun dosen dan mahasiswa memiliki pemahaman yang baik tentang *Flipped Classroom* dan CTS, masih ada beberapa tantangan dan kebutuhan yang harus diatasi untuk memastikan implementasi yang efektif dan berhasil dalam konteks perkuliahan Fisika Dasar. Oleh karena itu, disertasi ini akan berfokus pada pengembangan model pembelajaran yang berbasis *Collaborative Cognitive Load Theory* (CCLT) dengan pendekatan *flipped classroom* untuk meningkatkan *Computational Thinking Skills* (CTS) mahasiswa. Dalam hal ini, penelitian ini akan mencoba mengatasi tantangan dan hambatan yang diidentifikasi dalam survei, serta mempertimbangkan kesiapan dosen, mahasiswa, dan dukungan infrastruktur dalam implementasi pendekatan ini.

Disertasi ini mengusulkan model pembelajaran yang memadukan prinsip-prinsip CCLT dan *Flipped Classroom* dalam konteks Fisika Dasar, sehingga dapat menciptakan lingkungan pembelajaran yang efektif dan efisien untuk mengembangkan CTS mahasiswa. Selain itu, disertasi ini akan mencakup pengembangan instrumen evaluasi yang valid dan reliabel untuk mengukur kemajuan CTS mahasiswa sepanjang perkuliahan.

Penelitian ini juga akan mencari cara untuk mengurangi beban kerja dosen dan mahasiswa dalam implementasi *Flipped Classroom*, misalnya dengan menyediakan materi dan sumber belajar yang berkualitas tinggi, serta memfasilitasi kolaborasi dan komunikasi antara dosen dan mahasiswa dalam kegiatan diskusi dan pemecahan masalah.

Terakhir, disertasi ini mencakup rekomendasi untuk institusi dan pihak-pihak terkait dalam mendukung dan mengembangkan implementasi *Flipped Classroom* dan pengembangan CTS dalam konteks perkuliahan Fisika Dasar.

Rekomendasi tersebut akan mencakup strategi untuk meningkatkan ketersediaan dan kualitas sumber belajar digital, dukungan untuk pengembangan profesional dosen, serta kebijakan dan praktik yang dapat mempromosikan kolaborasi dan adaptasi yang efektif di antara dosen, mahasiswa, dan staf pendukung.

Dengan demikian, melalui analisis yang komprehensif dan evaluasi pendekatan CCLT dalam *Flipped Classroom* untuk meningkatkan CTS mahasiswa, disertasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi penelitian dan praktik di bidang pendidikan Fisika dan pembelajaran berbasis komputasi.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan kajian literatur, teori-teori yang relevan, dan temuan awal dari survei pendahuluan terhadap dosen dan mahasiswa di beberapa perguruan tinggi, dapat diidentifikasi sejumlah permasalahan pokok yang melandasi pentingnya penelitian ini, yaitu:

1. Rendahnya pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi mahasiswa, khususnya dalam kemampuan menyelesaikan masalah secara sistematis, logis, kreatif, dan adaptif terhadap tuntutan dunia nyata, termasuk dalam konteks perkuliahan Fisika Dasar.
2. Keterbatasan pemahaman dan penerapan konsep computational thinking skills (CTS) secara eksplisit dalam pembelajaran Fisika Dasar. Banyak dosen dan mahasiswa belum memiliki panduan praktis maupun desain pembelajaran yang mendukung penguatan keterampilan ini.
3. Belum terpadunya pendekatan flipped classroom dan Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT) dalam suatu model pembelajaran yang utuh dan terstruktur, padahal keduanya memiliki potensi saling melengkapi untuk mendorong keterlibatan mahasiswa secara aktif serta mengelola beban kognitif secara optimal.
4. Masih terbatasnya inovasi model pembelajaran yang mampu menjembatani kesenjangan teori dan praktik, terutama dalam mengintegrasikan teknologi digital, aktivitas kolaboratif, dan strategi pengurangan beban kognitif dalam satu kesatuan proses pembelajaran.

5. Kurangnya kesiapan dosen dan mahasiswa dalam menjalankan pembelajaran berbasis flipped classroom dan kolaboratif, termasuk dalam aspek desain materi, pengelolaan interaksi kelompok, dan adaptasi terhadap perubahan peran dalam proses belajar.
6. Keterbatasan materi ajar dan sumber belajar digital yang dirancang secara khusus untuk mendukung pendekatan flipped classroom berbasis CCLT, yang dapat membantu mahasiswa memahami konsep Fisika Dasar secara lebih mendalam dan bermakna.
7. Hambatan dalam evaluasi pembelajaran, khususnya dalam mengukur keterampilan berpikir komputasional mahasiswa yang mencakup aspek konseptual, praktikal, dan perspektif, serta belum tersedianya instrumen yang valid dan reliabel untuk keperluan tersebut.
8. Tingginya beban kognitif mahasiswa dalam pembelajaran Fisika Dasar, yang dapat disebabkan oleh kompleksitas materi, cara penyampaian yang kurang mendukung pengolahan informasi secara efektif, serta kurangnya scaffolding dalam proses belajar.
9. Masih lemahnya dukungan institusional dalam hal kebijakan dan infrastruktur yang mendukung implementasi model pembelajaran berbasis teknologi, kolaborasi, dan penguatan keterampilan berpikir, termasuk pelatihan untuk dosen dan pengembangan Learning Management System (LMS) yang adaptif.
10. Belum adanya model pembelajaran berbasis teori yang teruji dan terdokumentasi, yang secara eksplisit mengintegrasikan flipped classroom dan CCLT untuk mendukung peningkatan CTS mahasiswa secara sistematis dan terukur dalam konteks pendidikan tinggi, khususnya pada perkuliahan Fisika Dasar.

C. Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan dapat dilaksanakan secara sistematis, maka ruang lingkup permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada pengembangan model pembelajaran berbasis flipped classroom yang diintegrasikan dengan Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT) sebagai upaya untuk mengoptimalkan keterampilan berpikir komputasional mahasiswa (computational thinking skills/CTS) dalam pembelajaran Fisika Dasar.
2. Fokus penelitian tidak mencakup pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi lainnya seperti berpikir kritis atau kreatif secara terpisah, tetapi diarahkan pada aspek penyelesaian masalah yang sistematis, logis, dan adaptif sebagaimana tercermin dalam kerangka CTS.
3. Penelitian ini tidak membahas semua pendekatan pembelajaran inovatif, melainkan secara spesifik mengkaji integrasi flipped classroom dan CCLT ke dalam satu model pembelajaran utuh dan terstruktur yang dirancang untuk mengelola beban kognitif dan mendorong keterlibatan kolaboratif mahasiswa.
4. Kesiapan dosen dan mahasiswa, termasuk aspek pemahaman terhadap CTS, pengelolaan pembelajaran kolaboratif, serta adaptasi terhadap perubahan peran dalam flipped classroom, akan ditinjau secara terbatas melalui studi kebutuhan (need assessment) pada tahap awal penelitian.
5. Materi ajar dan sumber belajar yang dikembangkan dibatasi pada topik-topik Fisika Dasar, dan pengembangannya diarahkan untuk mendukung pendekatan flipped classroom berbasis CCLT.
6. Evaluasi dalam penelitian ini hanya difokuskan pada pengukuran keterampilan berpikir komputasional mahasiswa, yang mencakup dimensi konseptual, praktikal, dan perspektif. Aspek lain seperti motivasi belajar atau hasil akademik umum tidak menjadi fokus evaluasi.
7. Penggunaan teknologi dalam pembelajaran dibatasi pada media digital yang digunakan untuk mendukung flipped classroom, seperti video pembelajaran, platform LMS, dan alat kolaboratif daring, tanpa membahas aspek teknis atau pengembangan perangkat lunak secara rinci.
8. Penelitian ini tidak bertujuan untuk mengembangkan teori baru, melainkan menghasilkan prototype model pembelajaran berbasis teori yang telah ada—

yakni flipped classroom dan CCLT—yang diharapkan mampu memberikan kontribusi konseptual dan praktis dalam pembelajaran Fisika Dasar di pendidikan tinggi.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi, dan cakupan masalah, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana model pembelajaran NEXUS berbasis collaborative cognitive load theory dengan pendekatan flipped classroom yang dapat mengoptimalkan *computational thinking skills* mahasiswa?”. Rumusan masalah ini kemudian dioperasionalkan ke dalam pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dari model pembelajaran yang dikembangkan dalam mengoptimalkan CTS mahasiswa?
2. Bagaimana kelayakan dari model pembelajaran yang dikembangkan dalam mengoptimalkan CTS mahasiswa? Kelayakan tersebut dapat ditinjau dari jawaban atas pertanyaan-pertanyaan berikut:
 - a. Bagaimana tingkat validitas isi dan konstruk model pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan penilaian validator?
 - b. Bagaimana kepraktisan model pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan tingkat keterlaksanaan sintak, sistem sosial, dan prinsip reaksi dalam pelaksanaan pembelajaran?
 - c. Bagaimana efektivitas dari model pembelajaran yang dikembangkan, berdasarkan hasil tes CTS yang ditinjau dari keterampilan kolaborasi dan beban kognitifnya?
3. Bagaimana pola CTS yang terbentuk berdasarkan interelasi antara dimensi konsep, dimensi praktik, dan dimensi perspektif?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pembelajaran NEXUS berbasis collaborative cognitive load theory dengan pendekatan flipped

classroom yang dapat mengoptimalkan *computational thinking skills* mahasiswa. Secara lebih rinci, tujuan tersebut dijabarkan sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan karakteristik dari model pembelajaran yang dikembangkan dalam mengoptimalkan CTS mahasiswa.
2. Mendeskripsikan kelayakan dari model pembelajaran yang dikembangkan dalam mengoptimalkan CTS mahasiswa dengan berdasarkan pada:
 - a. Tingkat validitas isi dan konstruk model pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan penilaian validator.
 - b. Kepraktisan model pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan tingkat keterlaksanaan sintak, sistem sosial, dan prinsip reaksi dalam pelaksanaan pembelajaran.
 - c. Efektivitas dari model pembelajaran yang dikembangkan, berdasarkan hasil tes CTS yang ditinjau dari keterampilan kolaborasi dan beban kognitifnya.
3. Mendeskripsikan pola CTS yang terbentuk berdasarkan interelasi antara dimensi konsep, dimensi praktik, dan dimensi perspektif.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat teoritis yang signifikan dalam bidang pendidikan fisika, khususnya dalam pengembangan teori tentang penggunaan *collaborative cognitive load theory* (CCLT) dan pendekatan *flipped classroom* untuk meningkatkan *computational thinking skills* (CTS) mahasiswa pada mata kuliah fisika dasar. Dalam pengembangan teori, penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana pendekatan-pendekatan ini dapat digunakan secara efektif dalam pembelajaran fisika, serta memberikan landasan bagi penelitian selanjutnya di bidang ini.

Model pembelajaran yang dikembangkan akan diterapkan pada perkuliahan fisika dasar, sehingga diharapkan dapat membantu mahasiswa meningkatkan CTS mereka, yang menjadi keterampilan yang semakin penting dalam dunia kerja saat ini. Selain itu, model pembelajaran ini juga dapat membantu dosen dalam mengajar dengan pendekatan yang lebih inovatif dan efektif, sehingga meningkatkan kualitas

pembelajaran di kelas. Penerapan model pembelajaran ini juga dapat memberikan manfaat pada tingkat institusi, karena dapat membantu universitas dalam meningkatkan kualitas lulusan.

Dalam hal inovasi, penelitian ini menggabungkan dua pendekatan pembelajaran yang relatif baru, yaitu CCLT dan *flipped classroom*, untuk menciptakan model pembelajaran yang lebih efektif dalam meningkatkan CTS mahasiswa. Penggunaan teknologi, seperti video pembelajaran dan platform pembelajaran *online*, juga dapat meningkatkan fleksibilitas dan aksesibilitas pembelajaran bagi mahasiswa. Oleh karena itu, penelitian ini dapat menjadi model bagi pengembangan model pembelajaran di masa depan yang menggabungkan pendekatan-pendekatan inovatif dan teknologi untuk mencapai hasil yang lebih optimal.

G. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan

Spesifikasi model pembelajaran yang dikembangkan adalah sebagai berikut.

1. Model pembelajaran yang dikembangkan merupakan hasil integrasi *collaborative cognitive load theory* (CCLT) dan pendekatan *flipped classroom*.
2. Model pembelajaran yang dikembangkan berorientasi pada pengoptimalan *computational thinking skills* (CTS) mahasiswa dengan kegiatan *unplugged computational thinking*.
3. Model pembelajaran yang dikembangkan diterapkan pada mata kuliah fisika dasar.
4. Produk yang dikembangkan sehingga dapat mendukung model pembelajaran yang dikembangkan yaitu berupa buku model pembelajaran yang dilengkapi dengan Rencana Pembelajaran Semester (RPS), bahan ajar, dan instrumen tes *computational thinking skills* (CTS) mahasiswa.

H. Asumsi Pengembangan

Asumsi:

1. Mahasiswa memiliki akses yang memadai terhadap teknologi dan internet untuk mengakses platform pembelajaran *online* yang digunakan dalam model pembelajaran ini.
2. Mahasiswa memiliki motivasi yang cukup untuk belajar mandiri di luar kelas, karena pendekatan *flipped classroom* mendorong mahasiswa untuk mempersiapkan diri sebelum pertemuan kelas.
3. Dosen memiliki keterampilan yang cukup dalam menggunakan teknologi dalam pembelajaran.
4. Keterampilan *computational thinking skills* (CTS) dapat diukur dengan valid dan reliabel menggunakan instrumen yang sesuai.

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR

A. Kajian Pustaka

1. Arsitektur Kognitif Manusia

a. Memori Kerja

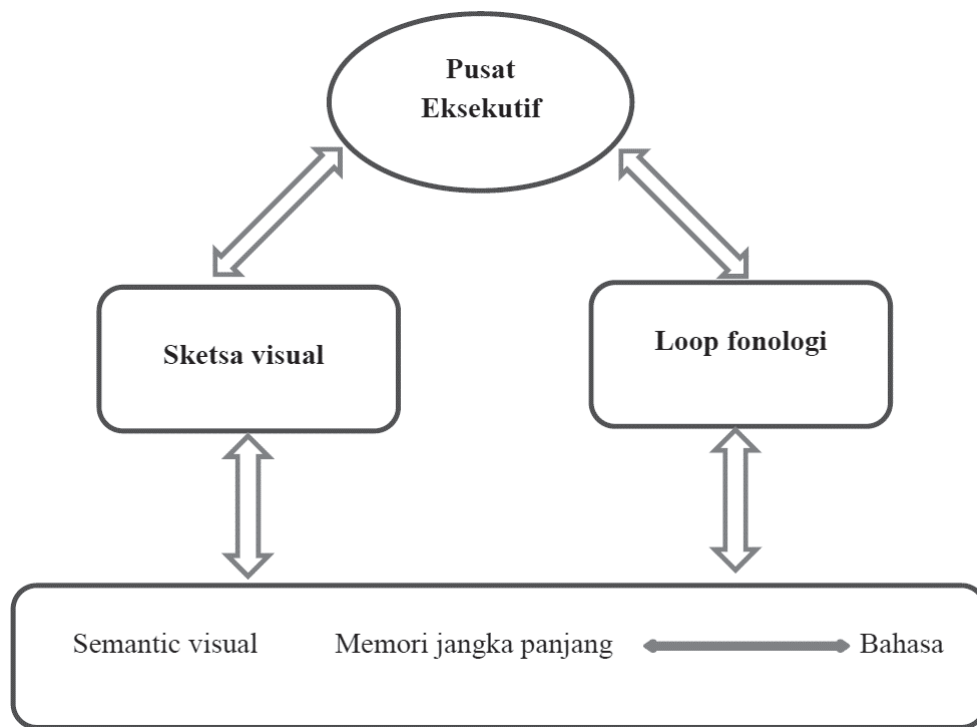
Memori kerja, yang diakui sebagai komponen esensial dalam arsitektur kognitif manusia, berperan sebagai wadah sementara untuk menyimpan dan memanipulasi informasi dalam jangka pendek. Menurut Cowan (2017), ini memegang peranan kunci dalam berbagai proses kognitif seperti pemecahan masalah, pemahaman teks, dan pembelajaran. Sweller et al. (2011) juga menekankan pentingnya memori kerja dalam aktivitas kognitif ini.

Model Baddeley-Hitch, yang diperkenalkan oleh Baddeley dan Hitch pada tahun 1974, menjadi salah satu model paling terkemuka dalam kajian memori kerja. Model ini, yang telah mengalami berbagai modifikasi sejak pengenalan awalnya, terdiri dari tiga komponen utama: pusat eksekutif, sketsa visual, dan loop fonologis. Pusat eksekutif berperan sebagai pengendali, mengatur aktivitas dua subsistem lainnya. Sketsa visual bertanggung jawab atas penyimpanan dan pemrosesan informasi visual dan spasial, sedangkan loop fonologis menangani informasi verbal dan akustik, sebagaimana dijelaskan oleh Repovš dan Baddeley (2006).



Gambar 2.1. Model Baddeley-Hitch tentang Memory Kerja

Peningkatan signifikan pada model ini adalah penambahan buffer episodik (lihat Gambar 2.1) pada tahun 2000 oleh Baddeley (2000). Buffer episodik ini berfungsi untuk mengintegrasikan informasi dari sketsa visual, loop fonologis, dan memori jangka panjang menjadi representasi keseluruhan yang koheren.



Gambar 2.2. Model Baddley tentang memori kerja dengan tambahan buffer episodik

Penelitian terbaru menyarankan berbagai modifikasi dan tambahan pada model Baddeley-Hitch, termasuk perubahan dalam peran pusat eksekutif dan integrasinya dengan teori beban kognitif, sebagaimana dijelaskan oleh Cowan (2017) dan Sweller et al. (2011). Model ini terus menjadi dasar dalam penelitian memori kerja dan pengaruhnya pada proses kognitif yang lebih tinggi, khususnya dalam konteks pendidikan.

Kapasitas dan durasi memori kerja adalah aspek kunci dalam memahami bagaimana individu memproses informasi dan pengaruhnya pada kinerja dalam berbagai tugas kognitif. Miller (1956) mengusulkan konsep "angka ajaib tujuh, plus atau minus dua" untuk kapasitas memori kerja, tetapi penelitian lanjutan oleh Cowan (2001) menunjukkan bahwa angka ini mungkin lebih rendah. Individu sering menggunakan strategi pengelompokan informasi untuk mengatasi keterbatasan kapasitas ini, sebagaimana dijelaskan oleh Lillienthal et al. (2014).

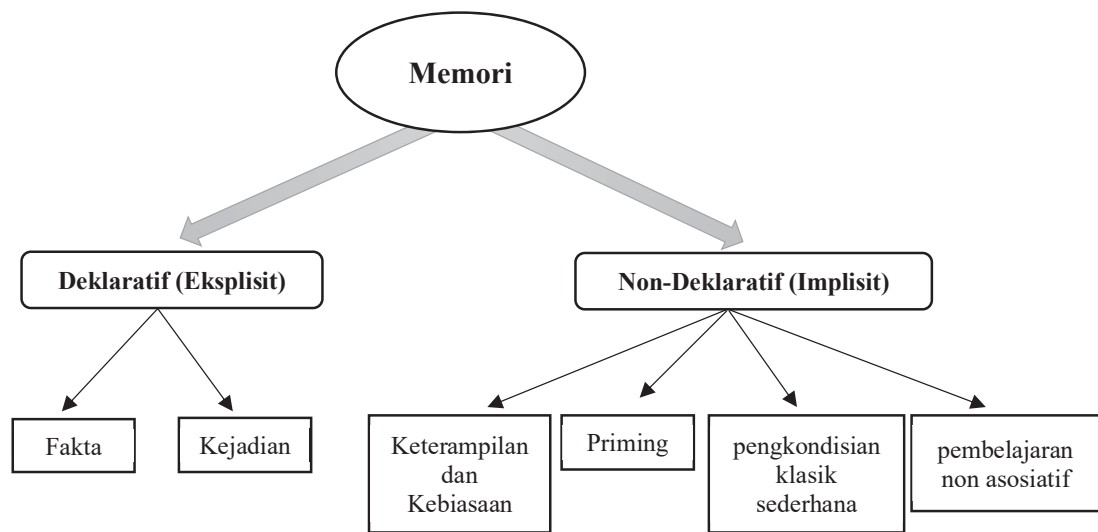
Durasi memori kerja, sebagaimana diuraikan oleh Barrouillet et al. (2015), bervariasi tergantung pada jenis informasi dan cara penyajiannya. Teknik seperti rehearsal sering digunakan untuk mempertahankan informasi dalam memori kerja, meskipun efektivitasnya dapat berkurang di bawah beban kognitif tinggi atau gangguan.

Memori kerja memiliki peran krusial dalam proses pembelajaran, mempengaruhi bagaimana individu mengkode, menyimpan, dan mengakses informasi. Pembatasan kapasitas memori kerja sering menjadi hambatan dalam pembelajaran, dan penelitian menunjukkan bahwa mengurangi beban kognitif melalui desain instruksional yang efektif dapat membantu mengatasinya, sebagaimana dijelaskan oleh Sweller et al. (2003).

Strategi efektif untuk mengoptimalkan memori kerja termasuk pemecahan masalah yang efisien, penggunaan analogi, contoh konkret, dan representasi visual. Selain itu, penggunaan strategi metakognitif, yang melibatkan pengawasan dan pengendalian proses kognitif, dapat membantu siswa mengoptimalkan penggunaan memori kerja mereka, sebagaimana dijelaskan oleh Dunlosky dan Metcalfe (2008) juga Flavell (1979). Metode ini membantu siswa mengidentifikasi kapan mereka perlu mengalokasikan lebih banyak sumber daya kognitif untuk tugas tertentu atau mengurangi beban kognitif dengan memprioritaskan informasi penting.

b. Memori Jangka Panjang

Memori jangka panjang adalah komponen krusial dalam arsitektur kognitif kita, memungkinkan penyimpanan informasi untuk durasi yang panjang. Squire dan Knowlton (2018) membagi memori jangka panjang menjadi dua jenis utama: memori deklaratif dan non-deklaratif, seperti yang diilustrasikan dalam Taksonomi Memori Jangka Panjang (lihat Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Taksonomi memori jangka panjang

Memori deklaratif berkaitan dengan kemampuan kita menyimpan dan mengakses informasi tentang fakta dan peristiwa yang bisa diartikulasikan secara verbal. Menurut Eichenbaum (2017), memori ini terkait erat dengan hipokampus dan struktur korteks medial temporal lainnya, sebagaimana diperjelas oleh Cohn-Sheehy et al. (2021). Memori deklaratif dibagi lagi menjadi memori semantik, yang meliputi pengetahuan umum dan konseptual seperti yang dijelaskan oleh Binder dan Desai (2011), dan memori episodik, yang mengaitkan peristiwa spesifik dalam waktu dan ruang, sebagaimana dikemukakan oleh Jeneson dan Squire (2012). Pemahaman akan memori deklaratif ini sangat penting dalam pengembangan model pembelajaran efektif.

Di sisi lain, memori prosedural berkaitan dengan pengetahuan tentang cara melakukan tugas atau kegiatan tertentu. Ini lebih otomatis dan kurang mudah diungkapkan secara verbal, seperti yang disoroti oleh Zheng dan Gardner (2020) dalam contoh mengendarai sepeda atau mengetik. Memori prosedural beroperasi dalam sistem korteks-basal ganglia, berbeda dari sistem memori deklaratif. Dalam konteks pendidikan, memahami perbedaan ini membantu merancang kegiatan pendidikan yang lebih efektif.

Menurut Spreng et al. (2018), fungsi utama memori jangka panjang adalah penyimpanan dan pengaksesan pengetahuan, yang memungkinkan kita mengingat

dan menggunakan informasi yang telah dipelajari sebelumnya dalam berbagai situasi. Proses penyimpanan pengetahuan ini melibatkan tahapan yang saling berkaitan, seperti dienkoding, penyimpanan atau konsolidasi dalam jaringan saraf, dan pemeliharaan informasi melalui mekanisme seperti rehearsal, sebagaimana dijelaskan oleh Zheng dan Gardner (2020).

Pengaksesan pengetahuan terjadi ketika kita mengingat atau menggunakan informasi yang disimpan, melibatkan reaktivasi pola aktivitas saraf, seperti yang dijelaskan oleh Tulving dan Kroll (1995) serta Rugg dan Vilberg (2013). Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti konteks dan keterampilan metakognitif (Wixted & Mickes, 2010).

Memori kerja dan memori jangka panjang terhubung erat dalam proses transfer pengetahuan. Transfer pengetahuan, yang dijelaskan oleh Squire dan Zola-Morgan (2015), adalah proses di mana informasi yang tersimpan diakses dan digunakan dalam memori kerja untuk memecahkan masalah atau membuat keputusan. Rawson et al. (2013) menunjukkan bahwa transfer ini melibatkan interaksi antara representasi dalam memori jangka panjang dan informasi yang diproses dalam memori kerja.

Proses pengolahan informasi dalam memori kerja dan memori jangka panjang, seperti yang dijelaskan oleh Unsworth dan Engle (2007) serta Zheng dan Gardner (2020), melibatkan mekanisme yang saling terkait. Informasi dalam memori kerja diproses secara aktif dan sementara, memungkinkan kita untuk fokus pada tugas saat ini. Informasi ini kemudian dapat diintegrasikan ke dalam memori jangka panjang. Sebaliknya, memori jangka panjang dapat diakses oleh memori kerja ketika diperlukan, memungkinkan kita untuk menerapkan pengetahuan yang telah dipelajari sebelumnya dalam situasi baru. Hubungan ini sangat penting dalam pembelajaran dan pemecahan masalah.

2. Teori Beban Kognitif (*Cognitive Load Theory*)

a. Sejarah dan Perkembangan *Cognitive Load Theory*

Cognitive Load Theory (CLT), yang diusulkan oleh John Sweller pada tahun 1988 (Sweller, 1988), adalah hasil dari penelitian mendalam mengenai arsitektur

kognitif manusia dan dampak keterbatasan memori kerja terhadap pembelajaran. Sweller menciptakan teori ini dengan fokus pada tiga komponen kunci: memori kerja, memori jangka panjang, dan skema (Sweller et al., 2011). Tujuan utama dari CLT adalah untuk mengeksplorasi bagaimana desain instruksional dapat mempengaruhi beban kognitif dan berkontribusi pada proses pembelajaran yang lebih efektif.

Sejak penemuan awalnya, CLT telah berkembang secara signifikan. Pada awalnya, teori ini terfokus pada beban kognitif intrinsik, yang terkait dengan kompleksitas bahan pembelajaran itu sendiri (Sweller, 1988). Namun, penelitian selanjutnya memperkenalkan dua jenis beban kognitif lainnya: ekstrinsik dan germane (Sweller et al., 1998). Beban ekstrinsik berkaitan dengan cara penyajian informasi dan bagaimana hal ini bisa menambah beban yang tidak berkaitan langsung dengan materi yang sedang dipelajari (Kalyuga et al., 1999). Penemuan ini memicu penelitian lebih lanjut tentang pentingnya mengurangi beban ekstrinsik melalui pendekatan desain instruksional yang lebih efisien.

Di sisi lain, beban kognitif germane berhubungan dengan usaha mental yang dibutuhkan untuk mengolah dan mengintegrasikan informasi baru ke dalam skema yang sudah ada dalam memori jangka panjang (Paas et al., 2003). Beban jenis ini dianggap positif karena mendukung pembentukan skema baru dan penyesuaian skema yang sudah ada.

Seiring berkembangnya CLT, berbagai strategi dan teknik desain instruksional telah dikembangkan untuk mengoptimalkan beban kognitif dalam pembelajaran (Van Merriënboer & Sweller, 2010). Ini termasuk praktik seperti mengurangi informasi yang tidak relevan, segmentasi informasi, pemanfaatan contoh praktis, dan pemberian bimbingan yang berkurang seiring dengan meningkatnya keahlian peserta didik.

Kesimpulannya, perkembangan CLT telah menggambarkan peningkatan pemahaman tentang interaksi antara memori kerja dan memori jangka panjang, serta bagaimana manajemen beban kognitif yang optimal dapat memfasilitasi proses pembelajaran yang lebih efektif dan efisien.

b. Jenis Beban Kognitif

Beban kognitif dalam pembelajaran dibagi menjadi tiga jenis utama, yaitu beban intrinsik, beban ekstrinsik, dan beban germane. Sweller (2010) mengidentifikasi beban intrinsik sebagai kompleksitas yang melekat pada materi pembelajaran itu sendiri, yang berinteraksi dengan pengetahuan awal peserta didik. Faktor-faktor yang mempengaruhi beban intrinsik termasuk jumlah elemen informasi yang saling terkait, tingkat kesulitan materi, dan tingkat abstraksi konsep yang diajarkan, seperti yang dijelaskan oleh Kalyuga (2009).

Pentingnya pengetahuan awal dan keahlian peserta didik dalam menentukan beban intrinsik juga diakui (Kalyuga, 2011). Peserta didik yang lebih berpengalaman dalam suatu topik biasanya memiliki beban intrinsik yang lebih rendah karena mereka telah mengembangkan skema yang relevan dalam memori jangka panjang mereka.

Untuk mengurangi beban intrinsik dalam desain instruksional, beberapa strategi yang disarankan termasuk penyederhanaan materi (Hativa & Hativa, 2000), progresivitas dalam penyajian materi (Van Merriënboer & Sweller, 2010), kontekstualisasi (Smith et al., 2012), penggunaan analogi (Gentner, 1983), dan bimbingan yang tepat (Kalyuga et al., 2001).

Beban ekstrinsik, sebagaimana dijelaskan oleh (Sweller et al., 1998), berkaitan dengan cara penyajian dan organisasi informasi dalam materi pembelajaran. Faktor-faktor seperti tata letak, format, kualitas visual dan auditif, serta cara penyampaian informasi (Paas et al., 2003) mempengaruhi beban ekstrinsik ini. Untuk mengurangi beban ekstrinsik, desainer instruksional dapat menggunakan format yang konsisten, menyajikan informasi secara berurutan, mengintegrasikan teks dan gambar, mengurangi informasi yang tidak relevan, dan meningkatkan kualitas visual dan auditif (Paas et al., 2003; Mayer & Mayer, 2005).

Beban germane terkait dengan proses konstruksi pengetahuan dan integrasi pengetahuan baru ke dalam skema yang ada (Sweller et al., 1998). Faktor-faktor seperti motivasi, minat, pengetahuan awal, dan kemampuan peserta didik mempengaruhi beban ini (Paas et al., 2003). Strategi untuk meningkatkan beban germane meliputi penggunaan aktivitas berbasis masalah (Jonassen, 2003),

scaffolding (Van Merriënboer & Sweller, 2010), kolaborasi dan diskusi (Cress et al., 2015), pemberian umpan balik (Hattie & Timperley, 2007), dan adaptasi instruksional (Kalyuga, 2009).

Prinsip-prinsip desain instruksional yang menerapkan CLT mencakup mengurangi redundansi informasi, menggunakan representasi dual, mengurangi beban split-attention, dan penggunaan contoh serta analogi (Chandler & Sweller, 1991; Mayer & Moreno, 2003; Ayres & Sweller, 2005; Gentner & Holyoak, 1997). Dalam konteks pembelajaran fisika dasar, pendekatan ini dapat mencakup menyediakan contoh yang relevan dengan kehidupan sehari-hari, menggunakan simulasi dan animasi, mendorong kolaborasi dan diskusi, serta menyediakan scaffolding dan bimbingan yang sesuai (Van Heuvelen & Zou, 2001; Ruthven et al., 2004; Cress et al., 2015; Van Merriënboer & Sweller, 2010).

Kesimpulannya, CLT menawarkan kerangka kerja yang berguna untuk mengoptimalkan proses pembelajaran, dengan mempertimbangkan beban kognitif yang dialami peserta didik. Pemahaman tentang hubungan antara memori kerja, memori jangka panjang, dan beban kognitif ini esensial bagi pendidik dalam mengevaluasi dan mengadaptasi praktik pengajaran mereka, sehingga memenuhi kebutuhan peserta didik yang beragam.

3. Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT)

a. Dasar Teoretis CCLT

Teori *Collaborative Cognitive Load Theory* (CCLT), yang diperkenalkan oleh Kirschner et al. pada tahun 2011, adalah integrasi antara *Cognitive Load Theory* (CLT) dan Teori Pembelajaran Kolaboratif. Teori ini dirancang untuk menyediakan kerangka kerja yang lebih lengkap dalam memahami dan mengoptimalkan beban kognitif dalam konteks pembelajaran kolaboratif, seperti yang dijelaskan oleh (Kirschner et al., 2011). CCLT menekankan bahwa pembelajaran kolaboratif dapat mengurangi beban kognitif individu melalui pembagian beban dan koordinasi pemrosesan informasi di antara anggota kelompok, suatu konsep yang dielaborasi oleh Kirschner dan De Bruyckere (2017).

Dalam rangka mengoptimalkan pembelajaran kolaboratif, CCLT menyoroti bagaimana interaksi antar anggota tim dapat mempengaruhi beban kognitif individu. (Kirschner et al., 2018) mengidentifikasi beberapa prinsip utama dalam teori ini, antara lain:

- 1) Panduan dan Dukungan Tugas: Terutama dalam lingkungan yang berbasis teknologi, seperti *Computer-Supported Collaborative Learning* (CSCL), adanya panduan dan dukungan tugas yang memadai esensial untuk mengurangi beban kognitif tambahan. Panduan ini membantu mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan efisiensi kolaborasi.
- 2) Keahlian Domain: Tingkat keahlian individu dalam domain tertentu berperan penting dalam menentukan beban kognitif. Semakin tinggi keahlian domain, semakin efisien pertukaran informasi, mengurangi beban tambahan.
- 3) Keterampilan Kolaborasi: Kemampuan dalam komunikasi, negosiasi, dan pemecahan masalah bersama sangat penting. Anggota tim dengan keterampilan kolaborasi yang baik cenderung mengalami beban kognitif yang lebih rendah.
- 4) Ukuran Tim: Ukuran tim berdampak pada kompleksitas interaksi dan koordinasi. Tim yang lebih besar mungkin menghadapi tantangan dalam koordinasi, yang meningkatkan beban kognitif.
- 5) Peran Tim: Penentuan peran yang jelas dapat mengurangi ambiguitas, meningkatkan efisiensi kolaborasi, dan mengurangi beban kognitif tambahan.
- 6) Komposisi Tim: Heterogenitas dalam pengetahuan dan keahlian dapat meningkatkan beban kognitif karena perlu adanya penyesuaian pemahaman antar anggota tim.
- 7) Pengalaman Tugas Sebelumnya: Pengalaman dengan tugas serupa memfasilitasi koordinasi, memperjelas ekspektasi tentang tugas, dan cara berkolaborasi.

- 8) Pengalaman Tim Sebelumnya: Tim dengan sejarah kerjasama yang sudah terbentuk cenderung memiliki koordinasi dan pemahaman yang lebih baik, mengurangi beban kognitif tambahan.
- 9) Secara keseluruhan, CCLT menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan berbagai faktor dalam desain dan implementasi aktivitas pembelajaran kolaboratif untuk memastikan efisiensi kognitif dan keberhasilan pembelajaran.

b. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kolaborasi Efektif

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Lai dan Wong (2022), ukuran kelompok berperan penting dalam menentukan efektivitas kolaborasi. Kelompok-kelompok kecil, yang terdiri dari 3 hingga 5 anggota, cenderung lebih efektif dalam kolaborasi. Hal ini dikarenakan setiap anggota memiliki lebih banyak kesempatan untuk berinteraksi secara individual, yang memperkuat keterlibatan dan pemahaman materi. Namun, Lai dan Wong juga menekankan bahwa kelompok yang terlalu kecil mungkin kurang mampu menghadirkan keragaman yang diperlukan untuk menghasilkan diskusi yang lebih berbobot dan mendalam, sebagaimana disarankan oleh Dillenbourg et al. (2009).

Weber et al. (2018) menunjukkan bahwa kelompok dengan keberagaman kemampuan yang lebih tinggi cenderung menghasilkan hasil pembelajaran yang lebih baik. Keberagaman ini memungkinkan anggota kelompok untuk saling melengkapi dan mengurangi beban kognitif. Namun, terlalu banyak keberagaman juga bisa menimbulkan ketidakseimbangan kontribusi, yang dapat menghambat proses kolaborasi, seperti yang diungkapkan oleh Gillies (2019). Selain itu, keberagaman latar belakang seperti budaya, gender, dan pengalaman juga berkontribusi terhadap efektivitas kolaborasi. Ini dapat memperkaya diskusi dengan perspektif yang beragam, seperti yang disarankan oleh Pieterse et al. (2011), meskipun hal ini juga dapat menimbulkan tantangan berupa konflik dan kesalahpahaman, seperti yang diidentifikasi oleh Zhang et al. (2021).

Komunikasi, baik verbal maupun nonverbal, adalah komponen kunci dalam kolaborasi yang efektif. Prabavathi dan Nagasubramani (2018) menekankan pentingnya komunikasi verbal dalam menyampaikan informasi dan gagasan.

Sementara itu, komunikasi nonverbal, yang mencakup ekspresi wajah, kontak mata, dan isyarat tangan, memainkan peran penting dalam mengatur dinamika kelompok dan membangun kepercayaan, seperti yang ditunjukkan oleh Phutela (2015).

Interaksi antara Siswa dan Guru Serta Antar Siswa: Muijs dan Reynolds (2017) menyoroti pentingnya interaksi siswa-guru dan antar siswa dalam konteks kolaboratif. Guru berperan sebagai fasilitator yang membantu siswa mengembangkan pemahaman mereka. Interaksi antar siswa, yang melibatkan berbagai strategi komunikasi, dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan sosial.

Tanggung jawab individual dan bersama adalah aspek penting lainnya dalam kolaborasi yang efektif. Decuyper et al. (2010) dan Moe et al. (2010) menekankan pentingnya pemantauan dan evaluasi kinerja anggota kelompok. Setiap anggota kelompok harus memahami peran dan tanggung jawab mereka, baik yang eksplisit maupun yang implisit, untuk mencapai tujuan pembelajaran secara bersama, seperti yang diungkapkan oleh Strijbos dan Weinberger (2010).

Oleh karena itu, untuk menciptakan kolaborasi yang efektif, diperlukan pendekatan holistik yang meliputi ukuran kelompok yang optimal, keberagaman kemampuan dan latar belakang, komunikasi yang efektif, interaksi yang berkualitas, serta tanggung jawab yang jelas dan terbagi antara anggota kelompok. Pendekatan ini akan menciptakan lingkungan pembelajaran yang kaya dan mendukung, yang tidak hanya memperkuat pemahaman materi tetapi juga mengembangkan keterampilan kolaboratif dan komunikatif siswa.

c. Strategi Menerapkan CCLT dalam Pengajaran

Untuk memahami dan menerapkan *Collaborative Cognitive Load Theory* (CCLT) dalam pengajaran, langkah pertama adalah mengakui pentingnya beban kognitif pada siswa selama pembelajaran kolaboratif, sebagaimana dijelaskan oleh Kirschner et al. (2018). Desain instruksional efektif yang berlandaskan CCLT mencakup pemilihan dan pengorganisasian aktivitas, materi, dan teknologi untuk meminimalisir beban kognitif yang tidak perlu, sesuai dengan Feldon et al. (2018). Strategi ini bisa meliputi penggunaan materi yang mudah dimengerti,

penyederhanaan tugas kompleks, dan pembagian tugas menjadi segmen-segmen yang lebih kecil.

Dalam praktiknya, guru dapat mengadopsi berbagai teknik dan aktivitas pembelajaran kolaboratif yang telah terbukti efektif, seperti yang dikemukakan oleh Cai dan Gu (2019). Contohnya termasuk diskusi kelompok, proyek kolaboratif, studi kasus, dan pemecahan masalah bersama, sebagaimana Alterman dan Harsch (2017) menyarankan. Dalam aktivitas ini, siswa berkesempatan untuk saling bertukar pengetahuan, bertanya, dan mendalami pemahaman mereka terhadap materi. Guru berperan penting dalam memfasilitasi interaksi konstruktif dan memberikan umpan balik yang tepat waktu.

Evaluasi dan penilaian dalam CCLT melibatkan pengukuran kinerja individu dan kelompok, serta efektivitas strategi pembelajaran kolaboratif. Penilaian harus mencakup aspek kognitif, afektif, dan sosial dari pembelajaran kolaboratif, seperti ditekankan oleh Cai dan Gu (2019). Metode penilaian bisa berupa tes individu, penilaian kinerja kelompok, dan penilaian proses kolaborasi, termasuk partisipasi dan kontribusi individu dalam kelompok (Feldon et al., 2018).

Guru perlu mengevaluasi dampak strategi dan teknik pembelajaran kolaboratif terhadap beban kognitif siswa dan kemampuan mereka mencapai tujuan pembelajaran. Evaluasi yang komprehensif dan reflektif akan membantu mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dalam strategi yang digunakan, serta memperbaiki pendekatan untuk optimasi pengajaran dan pembelajaran kolaboratif.

Selain itu, guru harus memperhatikan bagaimana beban kognitif individu dan kelompok mempengaruhi hasil pembelajaran. Jika terdapat indikasi bahwa beban kognitif yang tinggi mengakibatkan kesulitan dalam pemahaman materi atau rendahnya partisipasi siswa, penyesuaian strategi pengajaran atau desain tugas mungkin diperlukan.

Terakhir, menciptakan lingkungan belajar yang kondusif bagi kolaborasi sangat penting. Lingkungan di mana siswa merasa dihargai, didukung, dan dihormati akan meningkatkan keterlibatan, kepuasan belajar, hasil akademik, dan mengurangi beban kognitif yang tidak perlu.

Secara keseluruhan, CCLT menawarkan panduan berharga dalam mengembangkan pembelajaran yang efektif untuk mengurangi beban kognitif dan meningkatkan hasil belajar. Dengan menerapkan prinsip-prinsip CCLT, strategi desain instruksional yang tepat, teknik dan aktivitas pembelajaran kolaboratif, serta evaluasi dan penilaian yang efektif, guru dapat menciptakan pengalaman belajar yang bermakna bagi siswa mereka.

4. Teori Kognitif dari Pembelajaran Multi Media

a. Tiga Asumsi Dasar Teori Kognitif Multimedia Pembelajaran

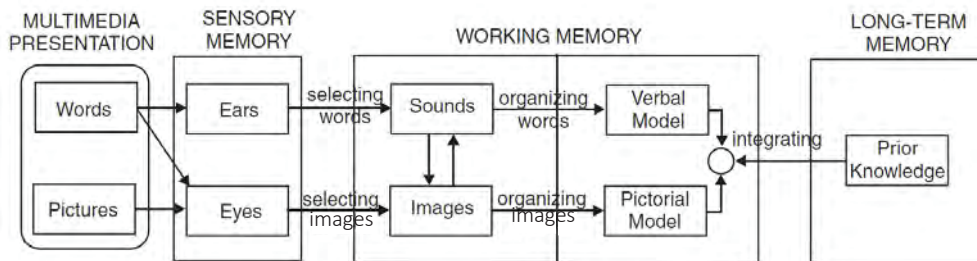
Dalam merancang lingkungan pembelajaran multimedia, sangat penting untuk menyesuaikan desain dengan bagaimana manusia memproses informasi. Ini berarti prinsip dasar dalam pembuatan multimedia harus mempertimbangkan pemahaman mendalam tentang proses kognitif individu.

Pentingnya memahami teori pembelajaran dalam desain multimedia tidak bisa diabaikan. Setiap keputusan desain dalam pesan multimedia mencerminkan pemahaman tentang cara manusia belajar, walaupun teori yang menjadi dasarnya sering kali tidak dijelaskan secara terang-terangan. Dalam setiap desain pesan multimedia, terkandung konsepsi perancang tentang cara kerja pikiran manusia. Sebagai contoh, sebuah presentasi multimedia yang membanjiri layar dengan teks dan gambar berwarna-warni yang bergerak menunjukkan bagaimana perancang memandang proses belajar manusia: sebagai sistem pemrosesan yang monoton, dengan kapasitas tak terbatas dan sifat pasif.

Namun, sejauh mana pandangan ini sesuai dengan kenyataan? Studi psikologi kognitif, seperti yang diungkap oleh Mayer (2008), menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam cara pikiran manusia bekerja. Ini menandakan bahwa pandangan tradisional tentang proses pembelajaran sering kali tidak selaras dengan temuan empiris tentang bagaimana manusia belajar.

Sebagai contoh, Gambar 2.4 menampilkan model kognitif pembelajaran multimedia yang merinci bagaimana sistem pemrosesan informasi manusia bekerja. Model ini menggambarkan berbagai tahapan memori, termasuk memori sensorik, memori kerja, dan memori jangka panjang. Dalam konteks pembelajaran

multimedia, informasi visual dan auditori dari dunia luar diproses melalui tahapan-tahapan memori ini.



Gambar 2.4. Model Kognitif Pembelajaran Multimedia (Mayer, 2008)

Saluran auditori/verbal (dalam bingkai atas) dan saluran visual/piktorial (dalam bingkai bawah) dalam teori kognitif pembelajaran multimedia diilustrasikan dalam Gambar 2.5. Memori kerja, sebagai aspek penting dalam pembelajaran multimedia, bertindak sebagai media sementara untuk menyimpan dan mengelola informasi yang sedang aktif dalam kesadaran kita. Sebagai contoh, saat membaca kalimat ini, kapasitas memori kerja kita mungkin hanya fokus pada beberapa kata secara bersamaan.

Bagian ini menjelaskan tiga asumsi utama teori kognitif pembelajaran multimedia: adanya dua saluran (*dual channels*), kapasitas yang terbatas, dan pemrosesan yang aktif. Asumsi ini dijabarkan dalam Tabel 2.1 dan mencakup pemahaman bahwa manusia memiliki saluran terpisah untuk memproses informasi visual dan auditori (Paivio, 1986; Baddeley, 1992), kapasitas terbatas dalam memproses informasi dalam satu saluran sekaligus (Baddeley, 1992; Chandler & Sweller, 1991), dan keterlibatan manusia dalam pembelajaran aktif dengan memperhatikan informasi yang relevan, mengorganisirnya menjadi representasi mental yang koheren, dan mengintegrasikan representasi tersebut dengan pengetahuan yang telah ada (Mayer, 2008a; Wittrock, 1989).

Table 2.1. Tiga Asumsi dari Pembelajaran Kognitif Multimedia

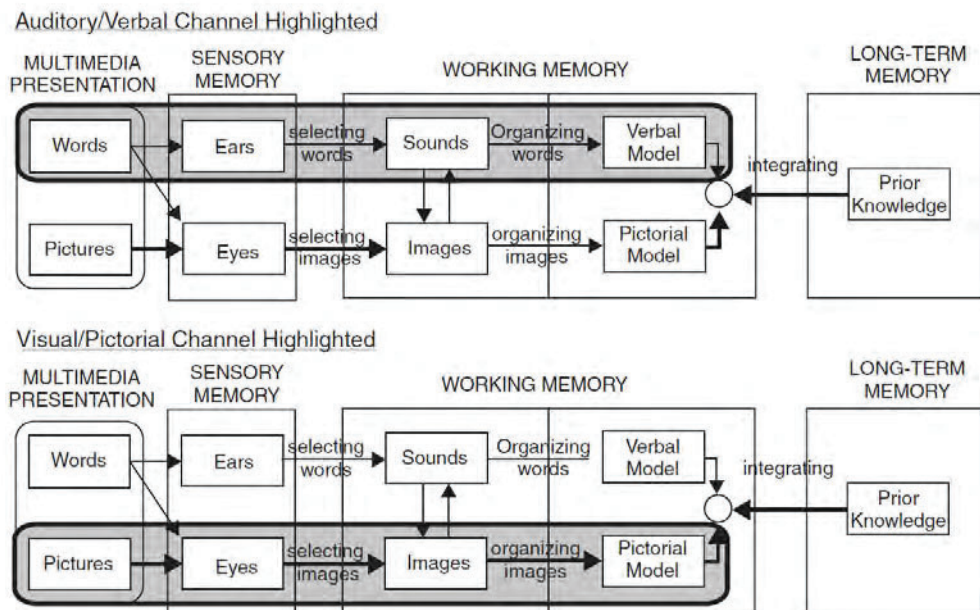
Asumsi	Deskripsi	Sitasi Terkait
Dua saluran	Manusia memiliki saluran terpisah untuk memproses informasi visual dan auditif.	Paivio, 1986; Baddeley, 1992

Asumsi	Deskripsi	Sitasi Terkait
Kapasitas terbatas	Manusia dibatasi dalam jumlah informasi yang dapat mereka proses dalam satu saluran sekaligus.	Baddeley, 1992; Chandler & Sweller, 1991
Pemrosesan aktif	Manusia terlibat dalam pembelajaran aktif dengan memperhatikan informasi masuk yang relevan, mengorganisir informasi yang dipilih menjadi representasi mental yang koheren, dan mengintegrasikan representasi mental dengan pengetahuan lainnya.	Mayer, 2008a; Wittrock, 1989

Dengan pemahaman yang mendalam tentang asumsi-asumsi ini, kita dapat menciptakan strategi desain multimedia yang lebih efektif dan sesuai dengan cara belajar manusia. Asumsi dual-saluran menekankan bahwa manusia memiliki saluran pemrosesan terpisah untuk materi visual dan auditori, yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pendekatan ini sesuai dengan teori *dual-coding* Paivio dan model memori kerja Baddeley.

Tabel 2.1. menjabarkan tiga asumsi dari pembelajaran kognitif multimedia, menguraikan dua saluran pemrosesan, kapasitas terbatas, dan pemrosesan aktif. Ini membantu dalam memahami bagaimana informasi diolah dalam masing-masing saluran, bagaimana kapasitas kognitif dibatasi, dan bagaimana sumber daya kognitif terbatas dialokasikan.

Secara keseluruhan, teori implisit pembelajaran yang mendasari pesan multimedia tertentu sering mengasumsikan bahwa pembelajaran adalah proses pasif dengan kapasitas tak terbatas dan saluran tunggal. Namun, teori kognitif pembelajaran multimedia yang saya usulkan berdasarkan tiga asumsi dasar tentang cara kerja pikiran manusia: sebagai sistem pemrosesan aktif dengan kapasitas terbatas dan saluran ganda.



Gambar 2.5. Saluran auditori/verbal (bingkai atas) dan saluran visual/piktorial (bingkai bawah) dalam teori kognitif pembelajaran multimedia (Mayer, 2008).

b. Lima Langkah dalam Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia

Pendekatan teori kognitif dalam pembelajaran multimedia, seperti digambarkan dalam Gambar 2.4, bersandar pada tiga asumsi kunci yang telah diuraikan sebelumnya. Dalam lingkup ini, multimedia diartikan sebagai penggunaan berbagai format dalam penyajian materi, misalnya melalui kata-kata dan gambar. Agar pembelajaran efektif terjadi dalam konteks multimedia, siswa harus menjalani lima proses kognitif kunci:

- 1) **Seleksi Kata-Kata yang Relevan:** Langkah ini mengarahkan siswa untuk memilih kata-kata penting yang harus diproses dalam memori kerja verbal. Proses ini dimulai dengan transformasi narasi lisan, seperti narasi yang dihasilkan komputer, menjadi representasi sensorik dari suara dan akhirnya menjadi representasi internal kata-kata tersebut dalam memori kerja verbal. Fokusnya adalah pada kata-kata kunci dalam pesan multimedia yang menonjol dari memori sensorik auditori. Misalnya, dalam konteks pelajaran tentang petir, siswa mungkin memilih kata-kata penting seperti "Udara dingin menjadi panas, naik, membentuk awan" dari narasi yang disajikan.

- 2) Seleksi Gambar yang Relevan: Tahap kedua ini melibatkan proses transformasi representasi pengetahuan dari gambar eksternal (seperti animasi atau ilustrasi) ke dalam representasi sensorik visual yang belum dianalisis, dan akhirnya ke dalam representasi internal dalam memori kerja. Proses seleksi ini menitikberatkan pada bagian tertentu dari animasi atau ilustrasi yang relevan, dengan mempertimbangkan kapasitas pemrosesan terbatas dari sistem kognitif.
- 3) Pengorganisasian Kata-Kata yang Dipilih: Setelah memilih kata-kata yang relevan, langkah selanjutnya adalah mengatur kata-kata tersebut menjadi model mental verbal yang koheren. Proses ini melibatkan pembentukan hubungan antara berbagai potongan informasi verbal, terfokus pada pembentukan struktur yang sederhana namun berarti.
- 4) Pengorganisasian Gambar yang Dipilih: Proses ini mirip dengan pengorganisasian kata-kata, tetapi terfokus pada gambar. Siswa membentuk hubungan antara berbagai potongan informasi visual, mengatur gambar-gambar tersebut menjadi model mental visual yang koheren.
- 5) Integrasi Representasi Berbasis Kata dan Berbasis Gambar: Langkah terakhir dan paling kritis adalah menghubungkan model mental verbal dan visual yang telah dibentuk siswa. Langkah ini melibatkan pemetaan elemen dan hubungan dari satu model ke model lain, termasuk menghubungkannya dengan pengetahuan sebelumnya yang diaktifkan dari memori jangka panjang.

Penting untuk dicatat bahwa kelima proses ini tidak selalu berlangsung secara linear atau berurutan. Siswa dapat berpindah dari satu proses ke proses lain dalam berbagai cara, menyesuaikan dengan dinamika pembelajaran. Proses-proses ini harus terkoordinasi dan dimonitor dengan baik untuk mencapai pembelajaran multimedia yang sukses. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menggali lebih dalam bagaimana proses-proses ini dikontrol dan dikoordinasikan dalam praktik pembelajaran.

Seluruh proses ini terjadi dalam sistem pemrosesan informasi siswa, yang memiliki kapasitas terbatas dan memerlukan pemrosesan kognitif yang terkoordinasi di setiap saluran untuk mencapai pembelajaran yang efektif. Desain pesan multimedia yang mempertimbangkan cara kerja pikiran manusia akan lebih

mungkin menghasilkan pembelajaran yang bermakna. Pembahasan terperinci tentang bagaimana pesan multimedia dapat dirancang untuk memfasilitasi proses pembelajaran ini akan dijelaskan dalam sepuluh bab berikutnya.

c. Tiga Jenis Beban Kognitif Dalam Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia

Dalam Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia, Mayer (2005a, 2008b) dan Mayer dan Moreno (2003), bersama dengan Teori Beban Kognitif yang dikembangkan oleh Chandler dan Sweller (1991), Clark, Nguyen, dan Sweller (2006), dan Sweller (1999, 2005), menekankan bahwa peserta didik mengalami tiga jenis pemrosesan kognitif selama proses pembelajaran. Setiap jenis pemrosesan ini memanfaatkan kapasitas kognitif yang tersedia bagi peserta didik. DeLeeuw dan Mayer (2008) menyebut ini sebagai 'model triarkis beban kognitif', yang dirangkum dalam Tabel 2.2.

Table 2.2. Tiga Jenis Beban Kognitif

Jenis	Definisi	Proses
Ekstrinsik	Pemrosesan kognitif yang tidak mendukung tujuan instruksional; disebabkan oleh desain instruksional yang membingungkan.	Tidak ada
Esensial	Pemrosesan kognitif yang diperlukan untuk merepresentasikan materi esensial dalam memori kerja; disebabkan oleh kompleksitas materi.	Memilih
Generatif	Pemrosesan kognitif yang diperlukan untuk pemahaman yang lebih mendalam; disebabkan oleh motivasi dari pelajar.	Mengorganisir dan mengintegrasikan

Tabel 2.2 mendefinisikan tiga jenis beban kognitif sebagai berikut:

- 1) Ekstrinsik: Ini mengacu pada pemrosesan kognitif yang tidak membantu dalam mencapai tujuan instruksional dan terjadi karena desain instruksional yang membingungkan. Misalnya, jika peserta didik harus secara visual memindai antara teks dan animasi di layar, ini menciptakan beban ekstrinsik karena menghabiskan kapasitas kognitif yang seharusnya digunakan untuk proses pembelajaran yang lebih esensial. Desain yang lebih efektif, seperti

menempatkan teks dekat dengan grafik terkait, dapat mengurangi beban ekstrinsik ini.

- 2) Esensial: Ini adalah pemrosesan kognitif yang diperlukan untuk menginternalisasi materi inti ke dalam memori kerja. Ini terjadi karena kompleksitas materi itu sendiri.
- 3) Generatif: Ini adalah pemrosesan kognitif yang bertujuan untuk pemahaman mendalam dan terkait dengan motivasi peserta didik. Pemrosesan generatif bisa ditingkatkan dengan menciptakan lingkungan belajar yang menarik dan interaktif.

Model triarkis ini menggarisbawahi bahwa kapasitas kognitif peserta didik terbatas, dan oleh karena itu, desain instruksional harus meminimalisir beban ekstrinsik dan esensial sambil memaksimalkan beban generatif untuk pembelajaran yang efektif. Hal ini menuntut perhatian terhadap masalah-masalah spesifik dalam desain instruksional, termasuk desain layout materi yang membingungkan, kompleksitas intrinsik materi, dan gaya komunikasi yang kurang memotivasi (Mayer, 2008b).

5. Teori Pembelajaran Kolaboratif *Online*

Teori kolaboratif menyajikan sebuah model pembelajaran di mana siswa didorong dan didukung untuk bekerja sama dalam proses belajar dan penciptaan pengetahuan. Dalam teori ini, pembelajaran didefinisikan sebagai Konvergensi Intelektual. Teknik seperti "pembelajaran aktif" atau "belajar dengan berpraktik" mengimplikasikan bahwa aktivitas yang didorong oleh minat siswa akan menghasilkan pengetahuan dan keterampilan. Meski demikian, kolaborativisme membangun pada teori pembelajaran konstruktivis dengan mengeksplorasi dan menekankan peran wacana seperti yang diteorikan oleh Lev Vygotsky.

Teori kolaborativisme menekankan peran sentral wacana dalam penciptaan, berbagi, penyebaran, aplikasi, dan kritik pengetahuan. Lev Vygotsky dalam bukunya tahun 1962, "Pikiran dan Bahasa", memberikan kontribusi penting dalam memahami peran bahasa dan masyarakat dalam pemikiran manusia. Dia berpendapat bahwa pemikiran adalah percakapan batin dengan diri sendiri, suatu

bentuk kolaborasi yang diarahkan ke dalam. Vygotsky merupakan pionir dalam menekankan pentingnya kolaborasi untuk konstruksi pengetahuan; ia mendefinisikan pembelajaran sebagai proses sosial yang berbasis pada bahasa, percakapan, dan "zona perkembangan proksimal" (ZPD), di mana kita belajar melalui kontak dan wacana dengan orang dewasa atau teman sebaya yang lebih kompeten dalam bidang tersebut.

Michael Tomasello, pemimpin dunia dalam antropologi kognitif, menulis bahwa manusia tidak dapat menciptakan teori asal-usul pemikiran manusia yang unik tanpa melibatkan unsur sosial. Tomasello telah menghabiskan lebih dari 20 tahun mempelajari bagaimana manusia berpikir dan belajar. Dia berpendapat bahwa kolaborasi adalah kunci untuk keunikan kognitif manusia.

Dalam pembelajaran kolaboratif, anggota kelompok mendiskusikan dan bekerja bersama sepanjang proses. Proses itu sendiri adalah kolaboratif, bukan hanya produknya. Proses ini adalah perubahan konseptual, di mana peserta didik dalam konteks bersama bergerak dari perspektif yang berbeda menjadi konvergen dan pemahaman yang lebih mendalam. Sebaliknya, "pembelajaran kooperatif" melibatkan setiap anggota kelompok memberikan kontribusi independen untuk keseluruhan.

Peran utama wacana dalam komunitas pengetahuan bukan hanya untuk meyakinkan, tetapi untuk menghasilkan kemajuan menuju solusi dari masalah bersama. Diskusi bukan hanya untuk berbagi informasi atau meluapkan pendapat; melainkan untuk mencari pemahaman bersama dan mengembangkan basis fakta yang diterima.

Dengan demikian, teori kolaborativis dan pendidikannya bertujuan untuk memasukkan peserta didik ke dalam proses percakapan (wacana) yang digunakan oleh komunitas pengetahuan untuk menciptakan pengetahuan dan memperbaiki ide.

a. Proses Triadik dalam Collaborativism (dikenal juga sebagai OCL)

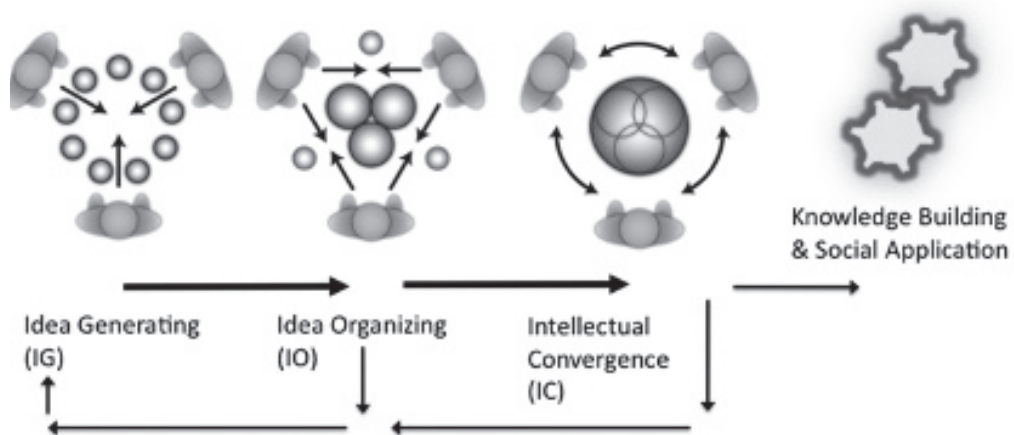
Teori pembelajaran collaborativist berlandaskan pada tiga proses atau tahapan pembelajaran kunci yang mengarah dari pemikiran divergen ke Konvergensi Intelektual. Pemikiran divergen mengacu pada suatu proses yang

menghasilkan berbagai pertanyaan, gagasan, tanggapan, atau solusi. Hal ini terkait dengan brainstorming dan pemikiran kreatif, serta menggali gagasan dari berbagai perspektif dan banyak sumber (termasuk observasi dan pengalaman pribadi).

Sedangkan pemikiran divergen melibatkan generasi banyak ide, proses yang berkaitan dengan identifikasi ide terbaik dan membuang ide yang lemah dikenal sebagai pemikiran konvergen. Pemikiran konvergen mengacu pada penyempitan opsi berdasarkan informasi dan analisis yang ada, dan memilih yang terbaik. Linus Pauling, ilmuwan terkemuka yang memenangkan dua Hadiah Nobel dalam hidupnya, dikutip dengan respons berikut saat ditanya dalam kuliah publik tentang bagaimana seseorang menciptakan teori ilmiah: ia menjawab bahwa seseorang harus berusaha menghasilkan banyak ide—kemudian membuang yang tidak berguna.

Proses ini diartikulasikan dalam pembelajaran collaborativist: kemajuan dari pemikiran divergen ke konvergen. Tiga tahapan mendefinisikan proses tersebut: Penghasilan Ide, Organisasi Ide, dan Konvergensi Intelektual (Harasim, 2002). Berikut adalah pengenalan singkat mengenai istilah-istilah ini (tahapan-tahapan ini dibahas lebih lanjut dalam bagian tentang pedagogi collaborativist):

- 1) Penghasilan Ide: Tahap pertama, Penghasilan Ide, mengacu pada pemikiran divergen dalam kelompok: brainstorming, verbalisasi, generasi informasi, dan dengan demikian berbagi ide dan posisi mengenai topik atau masalah tertentu.
- 2) Organisasi Ide: Tahap kedua, Organisasi Ide, adalah awal dari perubahan konseptual, menunjukkan kemajuan intelektual dan awal konvergensi ketika peserta menghadapi ide baru atau berbeda, mengklarifikasi dan mengelompokkan ide baru tersebut berdasarkan hubungan dan kesamaan satu sama lain, memilih ide yang lebih kuat dan menyisihkan posisi yang lebih lemah (merujuk, menyetujui, tidak setuju atau mempertanyakan).
- 3) Konvergensi Intelektual: Tahap ketiga, Konvergensi Intelektual, biasanya tercermin dalam pemahaman bersama (termasuk setuju untuk tidak setuju), atau kontribusi bersama untuk dan konstruksi produk atau solusi pengetahuan.



Gambar 2.6. Tiga Fase Intelektual dari Kolaborativisme (Harasim, 2002)

Gambar 2.6 menunjukkan tiga tahap diskursus kolaboratif: dari Penghasilan Ide (IG) ke Konvergensi Intelektual (IC). Di tahap IG, siswa berbagi ide dengan kelompok melalui brainstorming dan berinteraksi dengan ide anggota lainnya. Tahap berikutnya, Organisasi Ide (IO), melibatkan refleksi atas ide yang didengar, interaksi, dan adopsi konsep-konsep analitis. Di sini, ide dievaluasi, dikembangkan, atau dibuang, mengarah pada konvergensi ide dan pembentukan analisis kelompok. Tahap terakhir, IC, fokus pada ko-konstruksi pengetahuan berdasarkan pemahaman bersama dan sintesis ide menjadi perspektif yang jelas. Hasil dari tahap ini adalah pemahaman bersama yang kokoh. Ini dapat mengarah ke aplikasi praktis atau diskusi lebih lanjut. Proses ini bersifat dinamis dan dapat berulang berdasarkan masukan dan pertumbuhan.

6. *Flipped Classroom*

a. Sejarah dan Perkembangan Flipped Classroom

Konsep *Flipped Classroom*, yang pertama kali diperkenalkan oleh Jonathan Bergmann dan Aaron Sams, dua guru kimia SMA di Colorado, Amerika Serikat pada awal 2000-an, telah mengalami evolusi signifikan sejak awal kemunculannya (Bergmann & Sams, 2012). Pendekatan ini, yang membalik urutan tradisional pembelajaran dengan mengharuskan siswa mempelajari konten secara mandiri di luar kelas dan menggunakan waktu kelas untuk kegiatan interaktif seperti diskusi

dan pemecahan masalah, telah mendapatkan momentum berkat kemajuan teknologi informasi dan komunikasi (Bishop & Verleger, 2013; Abeysekera & Dawson, 2015).

Penggunaan *Flipped Classroom* telah menunjukkan peningkatan keterlibatan siswa, pemahaman materi, dan hasil akademik, dengan studi-studi yang mendukung efektivitasnya dalam berbagai aspek pendidikan (Turan & Goktas, 2016; Zain, 2022). Implementasinya telah menyebar luas, melintasi berbagai tingkat pendidikan dan disiplin ilmu, seperti sains, matematika, bahasa, dan ilmu sosial, membuktikan fleksibilitas dan adaptabilitasnya dalam berbagai konteks pembelajaran (Akçayır & Akçayır, 2018; Aşıksoy, 2018; Turan & Akdag-Cimen, 2020). Beberapa contoh penerapan *Flipped Classroom* meliputi:

- 1) Pendidikan dasar: Guru menggunakan video pendek dan interaktif untuk menggantikan ceramah tradisional, memungkinkan siswa untuk belajar konten di rumah dan menggunakan waktu kelas untuk kegiatan praktik dan kolaboratif (Bergmann & Sams, 2012).
- 2) Pendidikan tinggi: Dosen di perguruan tinggi menggunakan *Flipped Classroom* untuk meningkatkan keterlibatan mahasiswa dalam diskusi, kolaborasi, dan pemecahan masalah yang lebih kompleks, seperti dalam mata kuliah ekonomi, fisika, dan psikologi (Aşıksoy, 2018; O’Flaherty & Phillips, 2015).
- 3) Pelatihan profesional: *Flipped Classroom* juga telah diterapkan dalam konteks pelatihan profesional, seperti pelatihan guru, pelatihan medis, dan pelatihan manajemen, dengan tujuan meningkatkan pemahaman dan penerapan konsep dalam situasi nyata (Zawilinski et al., 2020).

Dalam berbagai konteks ini, *Flipped Classroom* telah menunjukkan potensi untuk meningkatkan hasil pembelajaran dan keterlibatan siswa, terutama ketika dikombinasikan dengan pembelajaran yang efektif dan mempertimbangkan beban kognitif, seperti *Collaborative Cognitive Load Theory* (CCLT) yang telah dibahas sebelumnya.

b. Proses dan Struktur Pembelajaran *Flipped Classroom*

Pembelajaran *Flipped Classroom* memulai prosesnya pada fase pra-kelas, di mana siswa diharapkan untuk mengakses dan mempelajari materi secara mandiri. Sumber belajar *online* seperti video, animasi, teks, dan kuis interaktif tersedia sebagai alat bantu (Asef-Vaziri, 2015). Keunggulan metode ini terletak pada fleksibilitasnya, memungkinkan siswa belajar sesuai kecepatan dan gaya belajar mereka sendiri, serta memberi kesempatan untuk mengulang materi yang sulit (Lo & Hew, 2017).

Pendidik memegang peranan penting dalam memilih dan mengorganisir sumber belajar ini. Mereka harus memastikan bahwa materi tersebut relevan, terkini, dan mudah diakses oleh siswa (Mok, 2014). Materi yang menarik dan interaktif dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa (Lai & Hwang, 2016).

Kemandirian siswa merupakan kunci utama dalam *Flipped Classroom*. Mereka harus proaktif dan bertanggung jawab untuk mempelajari materi sebelum kelas, serta mempersiapkan pertanyaan dan topik untuk diskusi lebih lanjut selama kelas berlangsung (Abeysekera & Dawson, 2015). Untuk mendukung kemandirian ini, pendidik dapat menyediakan jadwal belajar, pedoman, dan umpan balik melalui kuis atau latihan online (Lai & Hwang, 2016). Sistem penghargaan atau insentif juga dapat digunakan untuk mendorong kemandirian dan proaktivitas siswa (Williams et al., 2016).

Persiapan siswa sebelum kelas berdampak langsung pada partisipasi mereka dalam diskusi, kolaborasi, dan pemecahan masalah selama kelas (Lo & Hew, 2017). Oleh karena itu, sangat penting bagi pendidik untuk menyediakan dukungan yang memadai agar siswa dapat mengembangkan kemandirian dan persiapan yang diperlukan (Williams et al., 2016).

Fase in-kelas dalam *Flipped Classroom* diisi dengan aktivitas kolaboratif dan interaktif yang dirancang untuk memperdalam pemahaman siswa tentang materi yang telah dipelajari sebelumnya (Bishop & Verleger, 2013). Aktivitas-aktivitas ini, seperti diskusi kelompok, proyek, pemecahan masalah, atau studi kasus,

memberi kesempatan bagi siswa untuk menerapkan pengetahuan mereka, berbagi ide, dan saling membantu (O'Flaherty & Phillips, 2015; Hao & Lee, 2016).

Aktivitas ini tidak hanya meningkatkan keterlibatan siswa, tetapi juga mempromosikan kemampuan berpikir kritis dan mengembangkan keterampilan komunikasi serta kerja sama, yang sangat penting di dunia kerja saat ini (McLaughlin et al., 2016). Karena itu, penting bagi pendidik untuk merancang aktivitas in-kelas yang menantang, relevan, dan bervariasi (Roehl et al., 2013).

Dalam model ini, peran guru bergeser dari penyampai informasi menjadi fasilitator dan mentor yang mendukung proses pembelajaran (Bergmann & Sams, 2012). Tanggung jawab guru meliputi membantu siswa memahami konsep yang sulit, memberikan umpan balik, dan mengarahkan diskusi atau aktivitas kolaboratif (Cheng et al., 2019).

Sebagai fasilitator, guru harus memiliki kemampuan komunikasi dan manajemen kelas yang efektif, serta pemahaman yang baik tentang kebutuhan dan karakteristik siswa (Hao & Lee, 2016). Mereka juga perlu terus mengevaluasi dan menyesuaikan metode pembelajaran agar sesuai dengan kebutuhan, minat, dan kemampuan siswa (Lai & Hwang, 2016).

Dalam konteks *Flipped Classroom*, penting bagi guru untuk menciptakan lingkungan belajar yang mendukung dan inklusif, di mana siswa merasa nyaman untuk mengajukan pertanyaan, berbagi ide, dan belajar dari kesalahan (Altemueller & Lindquist, 2017). Peran guru menjadi sangat krusial dalam memastikan kesuksesan penerapan *Flipped Classroom* dalam meningkatkan kualitas pembelajaran (Hao & Lee, 2016).

c. Kelebihan dan Kekurangan *Flipped Classroom*

Keunggulan pertama dari *Flipped Classroom*, yang telah luas dibahas dalam literatur pendidikan, adalah peningkatan signifikan dalam prestasi akademik siswa. Van Alten et al. (2019) dalam penelitiannya menemukan bahwa siswa yang belajar dengan model *Flipped Classroom* cenderung mencapai skor ujian yang lebih tinggi dan retensi materi yang lebih baik dibandingkan dengan mereka yang mengikuti kelas tradisional. Kemajuan ini, menurut Bergmann dan Sams (2012), mungkin disebabkan oleh transformasi peran guru menjadi fasilitator, yang memungkinkan

siswa untuk lebih fokus pada pemahaman dan penerapan konsep selama jam pelajaran.

Selanjutnya, Yilmaz dan Baydas (2017) menyoroti bahwa *Flipped Classroom* membantu mengurangi beban kognitif siswa. Model ini menyediakan materi prakelas yang memungkinkan siswa belajar sesuai kecepatan masing-masing dan mereview materi sesuai kebutuhan. Hal ini, sebagaimana dijelaskan oleh Korkmaz dan Mirici (2021), memberikan siswa kesempatan untuk menghabiskan waktu lebih efektif dalam diskusi dan aktivitas in-kelas yang relevan dengan materi yang telah dipelajari sebelumnya.

Peningkatan dalam keterampilan sosial dan kolaborasi juga menjadi keunggulan signifikan dari model ini. Blau dan Shamir-Inbal (2017) menemukan bahwa siswa dalam kelas *Flipped Classroom* melaporkan peningkatan dalam keterampilan kolaborasi dan kepuasan dalam bekerja sama dengan teman sebaya. Ini terjadi karena aktivitas in-kelas seringkali melibatkan kerja kelompok dan diskusi, yang mendorong siswa untuk saling berbagi ide dan menyelesaikan masalah bersama (Korkmaz & Mirici, 2021).

Cevikbas dan Kaiser (2020) menambahkan bahwa *Flipped Classroom* meningkatkan keterampilan komunikasi siswa, karena mereka terlibat dalam diskusi dan presentasi kelompok. Keterampilan ini penting dalam konteks profesional di era modern, seperti yang ditekankan oleh Tang et al. (2017), di mana kemampuan menyampaikan informasi dengan jelas sangat berharga. Hwang et al. (2015) menggarisbawahi bahwa keterampilan sosial dan kolaborasi ini tidak hanya bermanfaat dalam konteks akademik, tetapi juga dalam kehidupan pribadi dan profesional siswa.

Meskipun banyak kelebihan, *Flipped Classroom* juga memiliki tantangan. Aidoo et al. (2022) menyoroti bahwa akses terhadap teknologi dan konektivitas internet yang memadai bisa menjadi hambatan. Keterbatasan ini dapat menimbulkan ketidakadilan pendidikan, terutama di daerah kurang berkembang atau bagi siswa dari keluarga berpenghasilan rendah (Herreid & Schiller, 2013). Untuk mengatasi hal ini, O'Flaherty dan Phillips (2015) menyarankan kerja sama

antara institusi pendidikan dengan pemerintah atau organisasi non-profit untuk menyediakan perangkat dan akses internet bagi siswa yang membutuhkan.

Selain itu, Abeysekera dan Dawson (2015) mencatat bahwa adaptasi guru dan siswa terhadap model *Flipped Classroom* membutuhkan waktu dan usaha ekstra Xiao et al. (2018) menambahkan bahwa beberapa siswa mungkin mengalami kesulitan dalam mengatur waktu dan mengembangkan kemandirian belajar yang diperlukan untuk sukses dalam model ini. Guru dapat membantu dengan menyediakan jadwal belajar yang jelas dan memberikan umpan balik reguler untuk mengembangkan keterampilan belajar mandiri siswa (Abeysekera & Dawson, 2015).

Terakhir, Satparam dan Apps (2022) menyoroti bahwa *Flipped Classroom* dapat meningkatkan beban kerja guru dalam hal pengembangan materi prakelas dan aktivitas in-kelas. Bishop dan Verleger (2013) menyarankan kolaborasi antar guru dan dukungan institusi dalam pengembangan materi prakelas untuk mengurangi beban ini.

7. *Computational Thinking Skills* (CTS)

a. Definisi dan Komponen Utama CTS

Computational Thinking (CT) adalah proses pemikiran yang melibatkan pemecahan masalah, desain sistem, dan pemahaman perilaku manusia dengan menggunakan konsep dasar ilmu komputer (Wing, 2006). CT telah diakui sebagai keterampilan penting dalam abad ke-21 dan menjadi bagian integral dari kurikulum pendidikan di seluruh dunia (Yadav et al., 2011).

Istilah *Computational Thinking* pertama kali diperkenalkan oleh Seymour Papert pada tahun 1980, yang kemudian dipopulerkan oleh Jeannette Wing pada tahun 2006 (Papert, 1980; Wing, 2006). Sejak itu, CT telah menjadi topik penting dalam bidang pendidikan, terutama dalam konteks pengajaran ilmu komputer dan matematika (Barr & Stephenson, 2011). Beberapa pendidikan telah mengintegrasikan CT ke dalam kurikulum mereka, seperti di Amerika Serikat dengan "*Computer Science for All*" dan Eropa dengan "*Digital Competence Framework*" (Grover & Pea, 2013; Voogt et al., 2015).

Pentingnya CT dalam pendidikan telah diakui oleh banyak peneliti dan praktisi, karena CT membantu siswa mengembangkan keterampilan pemecahan masalah, berpikir kritis, dan kolaborasi yang diperlukan dalam masyarakat yang semakin bergantung pada teknologi (Román-González et al., 2017). Selain itu, CT dianggap sebagai bagian penting dari "literasi digital" yang diperlukan untuk berpartisipasi secara efektif dalam ekonomi global yang didorong oleh teknologi informasi (Bocconi et al., 2016). Dalam konteks ini, banyak negara telah mengintegrasikan CT ke dalam kurikulum pendidikan mereka untuk mempersiapkan siswa untuk masa depan yang semakin digital (Kalelioglu et al., 2016).

CT terdiri dari empat komponen utama: dekomposisi, pola pengenalan, abstraksi, dan algoritma (Brennan & Resnick, 2012). Dekomposisi melibatkan pemecahan masalah yang kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan mudah dikelola, sementara pola pengenalan melibatkan identifikasi kesamaan dan perbedaan antara bagian-bagian tersebut. Abstraksi mengacu pada proses menggeneralisasi informasi yang relevan dari contoh spesifik, dan algoritma berkaitan dengan pengembangan langkah-langkah sistematis untuk menyelesaikan masalah (Weintrop et al., 2016). Ketika siswa mengembangkan keterampilan CT, mereka menjadi lebih mampu untuk menganalisis dan menyelesaikan berbagai masalah dalam berbagai konteks (Sáez-López et al., 2016).

Dalam beberapa tahun terakhir, konsep "pemikiran komputasional" telah mendapat perhatian yang signifikan di kalangan edukator dan praktisi teknologi. Namun, meski demikian, belum ada kesepakatan umum tentang definisi pemikiran komputasional. Sejumlah literatur mencoba memberikan pandangan mereka tentang konsep ini, namun tetap menyisakan ruang untuk interpretasi. Sebagai contoh, sebuah definisi menjelaskan bahwa pemikiran komputasional adalah "proses berpikir yang terlibat dalam merumuskan masalah dan solusinya, sehingga solusi tersebut dapat diwujudkan dan dieksekusi oleh sebuah sistem informasi." Deskripsi ini, meskipun singkat, menangkap esensi dari peran pemikiran komputasional dalam proses kreasi teknologi.

Pemikiran komputasional tidak hanya sekedar konsep teoretis, melainkan sebuah paradigma yang memandu proses belajar dan berpikir. Dengan berbagai platform pemrograman yang tersedia saat ini, pemrograman telah menjadi lebih dari sekedar aktivitas teknis; ini adalah medium untuk mendalami dan menerapkan pemikiran komputasional.

Aspek penting lainnya dari pemikiran komputasional adalah bagaimana aktivitas berbasis desain, khususnya pemrograman media interaktif, mendukung pengembangan keterampilan ini di kalangan generasi muda. Keterlibatan aktif dalam proses desain dan kreasi memungkinkan mereka untuk tidak hanya memahami teori, tetapi juga menerapkan konsep-konsep tersebut dalam bentuk nyata. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip konstruksionisme, yang menekankan pentingnya pembelajaran melalui kegiatan desain dan pembuatan.

Table 2.3. Keterangan dari Dimensi CT dan Komponen Keterampilan untuk Setiap Dimensi

Dimensi	CT Skills
Konsep	Logika dan pemikiran logis, Berpikir kritis, Data, Sinkronisasi, Algoritma/Pemikiran algoritmik, Pengenalan pola, Pengolahan informasi, Evaluasi, Otomatisasi
Praktik	Abstraksi, Dekomposisi masalah, Penalaran, Pemecahan masalah, Organisasi, Perencanaan, Pengujian dan debugging, Modularisasi/Modeling, Interaktivitas pengguna, Bersifat inkremental dan iteratif
Perspektif	Kreativitas dan kreasi, Komunikasi, Kolaborasi dan kerjasama, Kepercayaan diri, Kompetensi diri dan keyakinan, Ekspresi dan pertanyaan, Refleksi, Generalisasi.

Berdasarkan berbagai studi dan analisis terkait aktivitas pemrograman dan desain, pemikiran komputasional dapat dikategorikan menjadi tiga dimensi utama (Lihat Tabel 2.3):

- 1) Konsep Komputasional: Ini merujuk pada ide-ide fundamental yang diterapkan saat memrogram.
- 2) Praktik Komputasional: Ini mencakup metode dan teknik yang dikembangkan dan diterapkan selama proses pemrograman.

- 3) Perspektif Komputasional: Ini berfokus pada cara pandang dan pemahaman individu tentang dunia teknologi dan bagaimana teknologi tersebut mempengaruhi diri mereka dan lingkungan sekitarnya.

b. Evaluasi CTS Mahasiswa: Metode dan Instrumen

Evaluasi formatif dan sumatif memiliki peran penting dalam mengukur perkembangan CTS siswa (Koh et al., 2014). Evaluasi formatif dilakukan secara berkelanjutan selama proses pembelajaran, memberi umpan balik kepada siswa dan dosen untuk memonitor dan meningkatkan pemahaman konsep serta kemampuan CTS siswa (Hadad et al., 2020). Ini mencakup tes, kuis, atau tugas yang memberikan umpan balik segera. Di sisi lain, evaluasi sumatif dilakukan pada akhir unit, kursus, atau periode waktu yang ditentukan untuk menilai penguasaan siswa terhadap konsep dan keterampilan CTS yang telah diajarkan (Grover et al., 2015).

Evaluasi berbasis portofolio merupakan metode yang efektif untuk mengukur kemajuan CTS siswa dalam konteks fisika dasar (Bakala et al., 2021). Portofolio mengumpulkan berbagai karya siswa, termasuk proyek, tugas, dan hasil studi kasus, yang menunjukkan kemampuan CTS mereka (Gaul & Kim, 2020). Portofolio memungkinkan dosen untuk mengkaji kualitas dan kedalaman pemikiran komputasi siswa, serta bagaimana mereka menerapkan keterampilan ini dalam berbagai situasi dan konteks fisika. Dalam mengevaluasi portofolio, dosen dapat melihat bukti pertumbuhan dan perkembangan CTS siswa sepanjang waktu, serta mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian lebih lanjut atau intervensi (Astrachan & Briggs, 2012).

Ada beberapa tipe utama instrumen penilaian CT, yaitu: penilaian berbasis blok, tes pengetahuan/keterampilan, skala Likert berdasarkan laporan diri, proyek pemrograman berbasis teks, pencapaian akademik dari kursus ilmu komputer, serta wawancara dan observasi.

- 1) Penilaian Berbasis Blok: Bahasa pemrograman berbasis blok seperti Scratch, Scratch Jr., Alice, Light Bot, Small Basic, dan Etoys telah digunakan secara luas untuk meningkatkan keterampilan CT peserta dan diadaptasi untuk menilai hasil intervensi dalam konteks pendidikan dasar

hingga perguruan tinggi. Beberapa studi telah menunjukkan potensi konteks pemrograman berbasis blok untuk mengajar dan mempromosikan CT.

- 2) Penilaian Pemrograman Berbasis Teks: beberapa studi menggunakan tugas pemrograman berbasis teks untuk menilai kompetensi CT mahasiswa.
- 3) Tes Keterampilan CT: Beberapa studi menggunakan bentuk penilaian yang lebih umum seperti pertanyaan pilihan ganda atau pertanyaan respons terkonstruksi untuk menilai keterampilan CT.
- 4) Skala Laporan Diri/Penilaian Berdasarkan Survei: Aspek-aspek CT sering berkaitan dengan keterampilan antar- dan intrapersonal, termasuk komunikasi, kolaborasi, atau pengajuan pertanyaan, yang sulit diukur melalui pemrograman berbasis atau tes tertulis. Beberapa studi mengadopsi skala Likert berdasarkan laporan diri untuk menilai rasa percaya diri atau efikasi diri siswa terhadap CT.

Dalam landasan pendidikan kontemporer, komputasi berpikir (CT) telah diberikan perhatian yang signifikan. Dalam penerapannya, CT kerap diintegrasikan dalam berbagai medium pendidikan. Mayoritas implementasi CT diketahui berlangsung dalam lingkungan formal berupa kelas reguler. Di sisi lain, ada juga intervensi yang dilakukan dalam format informal, termasuk aktivitas belajar di luar jam sekolah atau platform belajar online. Dari perspektif disiplin ilmu, mata kuliah yang seringkali memasukkan komponen CT adalah yang berada di bawah naungan fakultas Ilmu Komputer. Namun, pendekatan interdisipliner pun tampak dengan integrasi CT dalam kurikulum mata kuliah terkait STEM lainnya dan dalam kurikulum yang diajarkan oleh Fakultas Pendidikan.

Pemahaman mendalam tentang keterampilan CT peserta didik memerlukan metode penilaian yang komprehensif. Oleh karena itu, pendekatan multiaspek sering menjadi pilihan dalam instrumen penilaian, menggabungkan berbagai metode untuk mendapatkan gambaran holistik kemampuan siswa. Di antara metode yang populer adalah tes pengetahuan umum atau tes keterampilan spesifik terkait CT. Pendekatan lainnya termasuk tugas pemrograman, baik berbasis teks atau visual, yang dapat memberikan wawasan tentang kemampuan praktik peserta didik. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang persepsi dan

pemahaman siswa, instrumen seperti skala laporan diri, wawancara, dan observasi juga digunakan.

Dalam era digital saat ini, instrumen penilaian seringkali memanfaatkan teknologi. Dominasi instrumen berbasis komputer, khususnya yang bersifat non-otomatis, menunjukkan adaptasi terhadap perkembangan teknologi pendidikan. Meskipun begitu, metode tradisional berbasis kertas masih memiliki tempatnya, seringkali digunakan bersama-sama dengan metode berbasis komputer. Otomatisasi penilaian juga menjadi perhatian; beberapa studi memilih untuk mengotomatisasi proses penilaian, sementara yang lain memilih pendekatan manual atau kombinasi keduanya. Dari segi keterampilan yang dinilai, tampak ada kecenderungan untuk menilai keterampilan kognitif. Namun, pendekatan holistik yang juga menilai keterampilan non-kognitif menunjukkan pemahaman bahwa CT bukan hanya tentang pemahaman teknis tetapi juga melibatkan aspek-aspek lain seperti persepsi, emosi, dan keyakinan diri.

c. Unplugged and Plugged Computational Thinking di Perguruan Tinggi

Unplugged Computational Thinking (UCT) merupakan pendekatan yang memungkinkan mahasiswa memahami konsep-konsep dasar Computational Thinking tanpa mengandalkan perangkat teknologi seperti komputer atau perangkat elektronik lainnya (Caeli & Yadav, 2020). Dalam beberapa tahun terakhir, UCT telah mendapatkan perhatian yang signifikan sebagai metode alternatif untuk mengajarkan keterampilan berpikir komputasi yang efektif dan inklusif, khususnya di perguruan tinggi (Zapata-Ros, 2019). Di sisi lain, *Plugged Computational Thinking* (PCT) adalah pendekatan yang menggunakan teknologi komputer atau perangkat elektronik untuk mengajarkan CTS (Hsu & Liang, 2021). PCT dianggap sebagai pendekatan yang lebih tradisional dalam mengajarkan CTS dan lebih dekat dengan aplikasi dunia nyata.

Dalam konteks perguruan tinggi, penerapan UCT dan PCT memiliki tujuan yang sama, yaitu membantu mahasiswa memahami dan menguasai konsep dasar CTS seperti abstraksi, dekomposisi, pengenalan pola, dan algoritma (Hsu & Liang, 2021). Baik UCT maupun PCT memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, sehingga banyak pendidik yang melihat potensi dalam menggabungkan

kedua pendekatan ini untuk menciptakan lingkungan belajar yang lebih kaya dan efektif (Polat & Yilmaz, 2022).

UCT menawarkan beberapa keuntungan dalam mengajarkan CTS. Salah satunya adalah kesempatan bagi mahasiswa untuk berfokus pada konsep dasar CTS tanpa terbebani oleh teknologi yang mungkin asing atau menakutkan bagi mereka (Hsu & Liang, 2021; Polat & Yilmaz, 2022). Selain itu, UCT memungkinkan para pengajar untuk mengajarkan konsep CTS melalui kegiatan yang melibatkan interaksi sosial dan kolaborasi, yang sesuai dengan teori konstruktivisme sosial Vygotsky. Namun, UCT juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti keterbatasan dalam mengajarkan CTS yang lebih kompleks atau yang membutuhkan pemrosesan informasi yang intensif.

Sebaliknya, PCT memungkinkan mahasiswa untuk menggali lebih dalam ke dalam konsep CTS dan menerapkannya dalam konteks dunia nyata menggunakan perangkat teknologi (Hsu & Liang, 2021; Polat & Yilmaz, 2022). PCT juga mengajarkan keterampilan teknis yang penting dalam dunia kerja masa kini, seperti pemrograman dan analisis data. Namun, PCT juga memiliki beberapa tantangan, seperti kesenjangan akses teknologi di antara mahasiswa dan kurva pembelajaran yang mungkin lebih curam bagi mereka yang kurang familiar dengan teknologi.

Penerapan UCT dalam perkuliahan Fisika Dasar menjadi semakin penting mengingat kebutuhan untuk melibatkan mahasiswa dalam pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual (Orban & Teeling-Smith, 2020). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa UCT dapat membantu mahasiswa memahami konsep fisika yang abstrak dan kompleks melalui aktivitas yang melibatkan pemecahan masalah, komunikasi, dan kolaborasi (Lin et al., 2019; Reif & Heller, 1982; Weller et al., 2022; Yin et al., 2020). Dalam konteks ini, UCT berfungsi sebagai pendekatan yang komplementer dengan pendekatan tradisional berbasis teknologi atau PCT.

Pada tahap awal perkuliahan Fisika Dasar, para pengajar dapat menggunakan UCT untuk mengajarkan konsep-konsep dasar seperti gaya, massa, dan percepatan melalui kegiatan yang melibatkan manipulasi benda fisik, peraga, atau simulasi yang sederhana (Orban & Teeling-Smith, 2020). Misalnya, pengajar dapat

mengajarkan hukum Newton melalui kegiatan yang melibatkan bola dan jalur yang melengkung untuk membantu mahasiswa memahami konsep gaya sentripetal. Kegiatan ini membantu mahasiswa mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang konsep fisika dan merangsang pengembangan keterampilan berpikir komputasi seperti abstraksi dan dekomposisi.

Selanjutnya, UCT dapat digunakan untuk mengajarkan konsep-konsep yang lebih kompleks dalam Fisika Dasar, seperti gelombang dan optik, melalui kegiatan yang melibatkan eksperimen nyata, diskusi kelompok, atau permainan yang dirancang untuk menggambarkan fenomena fisika tertentu (Orban & Teeling-Smith, 2020). Misalnya, mahasiswa dapat belajar tentang interferensi dan difraksi gelombang melalui permainan yang melibatkan pembentukan pola interferensi dengan tali atau air. Kegiatan ini memungkinkan mahasiswa untuk berinteraksi secara langsung dengan fenomena fisika dan membangun pemahaman konseptual yang kuat melalui proses konstruktivisme sosial.

Dalam mengintegrasikan UCT dalam perkuliahan Fisika Dasar, pengajar perlu mempertimbangkan beberapa faktor, seperti variasi kebutuhan belajar mahasiswa, ketersediaan sumber daya, dan keterampilan mengajar yang relevan (Orban & Teeling-Smith, 2020). Pemilihan kegiatan UCT yang tepat dan efektif akan sangat bergantung pada pemahaman pengajar tentang konsep fisika, karakteristik mahasiswa, dan konteks belajar. Oleh karena itu, pengembangan dan penilaian strategi pengajaran yang menggabungkan UCT dalam perkuliahan Fisika Dasar menjadi penting untuk memastikan bahwa pendekatan ini benar-benar meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir komputasi mahasiswa. Selain itu, pengajar harus secara kontinu menyesuaikan pendekatan mereka berdasarkan umpan balik dan hasil evaluasi dari praktik mengajar mereka.

Penerapan UCT dalam perkuliahan Fisika Dasar juga memerlukan kolaborasi antara pengajar dan mahasiswa dalam menciptakan lingkungan belajar yang kondusif (Orban & Teeling-Smith, 2020). Hal ini melibatkan komunikasi yang efektif, pemikiran kritis, dan kreativitas dalam merancang dan melaksanakan kegiatan yang sesuai dengan tujuan pembelajaran dan karakteristik mahasiswa. Oleh karena itu, pengajar harus terus-menerus mencari dan mengadopsi strategi

pengajaran yang inovatif dan efektif, serta mengevaluasi dan merefleksikan praktik mereka dalam rangka meningkatkan kualitas pengajaran dan pembelajaran Fisika Dasar.

Plugged Computational Thinking (PCT) mengacu pada penerapan prinsip dan keterampilan berpikir komputasi dengan menggunakan teknologi dan alat-alat digital dalam proses pembelajaran (Weller et al., 2022). Dalam konteks perkuliahan Fisika Dasar, PCT dapat diintegrasikan melalui penggunaan simulasi, pemodelan komputasi, dan pemrograman untuk memperkaya pengalaman belajar mahasiswa.

Salah satu cara untuk menerapkan PCT dalam perkuliahan Fisika Dasar adalah dengan menggunakan simulasi berbasis komputer untuk membantu mahasiswa memahami konsep yang abstrak dan kompleks (Weintrop et al., 2016). Simulasi dapat membantu mahasiswa menjelajahi dan menguji hipotesis mereka, serta mengamati fenomena yang tidak mudah diakses dalam lingkungan laboratorium konvensional. Selain itu, simulasi juga dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran (Weller et al., 2022).

Pemrograman juga merupakan aspek penting dari PCT yang dapat diintegrasikan dalam perkuliahan Fisika Dasar. Pemrograman membantu mahasiswa mengembangkan kemampuan abstraksi, dekomposisi, pengenalan pola, dan algoritma, yang merupakan komponen utama dari CTS (Weller et al., 2022). Pemrograman dapat diintegrasikan melalui penggunaan bahasa pemrograman yang ramah pemula, seperti Python atau Scratch, untuk menerapkan konsep dan keterampilan berpikir komputasi dalam konteks Fisika Dasar.

Selain itu, pemodelan komputasi juga dapat menjadi cara efektif untuk mengintegrasikan PCT dalam perkuliahan Fisika Dasar. Pemodelan komputasi memungkinkan mahasiswa untuk merepresentasikan dan memprediksi perilaku sistem fisika dengan cara yang lebih eksplisit dan terstruktur (Hsu et al., 2018). Pemodelan komputasi dapat membantu mahasiswa mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang konsep-konsep Fisika Dasar dan keterampilan pemecahan masalah.

Dalam menerapkan PCT dalam perkuliahan Fisika Dasar, pengajar perlu mempertimbangkan berbagai faktor, seperti tingkat kemampuan dan kebutuhan

belajar mahasiswa, sumber daya yang tersedia, dan tujuan pembelajaran (Orban & Teeling-Smith, 2020; Weller et al., 2022). Pemilihan alat dan teknologi yang sesuai, serta dukungan dan pelatihan yang memadai untuk pengajar dan mahasiswa, merupakan kunci keberhasilan integrasi PCT dalam pengajaran Fisika Dasar.

Kesimpulannya, penerapan PCT dalam perkuliahan Fisika Dasar menawarkan peluang yang menarik untuk menggabungkan teknologi dan alat-alat digital dalam pembelajaran, yang dapat meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan pemecahan masalah, dan keterlibatan mahasiswa. Dalam konteks ini, PCT dapat membantu mempersiapkan mahasiswa untuk menghadapi tantangan masa depan di era digital, serta menggali potensi mereka dalam bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika (STEM).

8. Integrasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS

a. Penggabungan Konsep CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS

Penggabungan konsep CCLT dan *Flipped Classroom* dapat berpotensi menciptakan lingkungan belajar yang optimal untuk mengembangkan CTS siswa (Gong et al., 2020; Janssen & Kirschner, 2020b; Jian, 2019; Liao et al., 2019). CCLT mempromosikan kolaborasi, komunikasi, dan tanggung jawab bersama dalam belajar, sementara *Flipped Classroom* mengubah peran siswa dan guru dengan memanfaatkan teknologi dan sumber daya online (Janssen & Kirschner, 2020; Liao et al., 2019). Dalam konteks ini, siswa dapat mempersiapkan diri di luar kelas dengan mempelajari materi yang relevan secara mandiri dan menggunakan waktu di kelas untuk berkolaborasi, berdiskusi, dan menyelesaikan masalah yang lebih kompleks (Janssen & Kirschner, 2020; Jian, 2019). Integrasi ini memungkinkan siswa untuk mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang konsep fisika dan keterampilan CTS, seperti dekomposisi, abstraksi, pengenalan pola, dan algoritma (Janssen & Kirschner, 2020; Gong et al., 2020).

Integrasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS juga memiliki potensi untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasi siswa secara signifikan (Chen et al., 2021; Gao & Hew, 2022). Melalui kolaborasi dan interaksi yang lebih tinggi, siswa dapat memperoleh pengetahuan dari satu sama lain dan bekerja secara efektif dalam

kelompok untuk menyelesaikan masalah yang melibatkan pemikiran komputasi (Gao & Hew, 2022). Selain itu, dengan menggunakan materi pembelajaran online dan sumber daya dalam *Flipped Classroom*, siswa dapat mengakses informasi dan mengembangkan pemahaman mereka tentang konsep fisika secara fleksibel dan mandiri (Chen et al., 2021).

Ketika siswa terlibat dalam aktivitas berbasis proyek yang melibatkan pemecahan masalah dan eksplorasi konsep fisika dengan menggunakan CTS, mereka dapat meningkatkan pemahaman mereka tentang materi dan mengembangkan keterampilan penting yang dibutuhkan dalam dunia kerja dan kehidupan sehari-hari (Chiazese et al., 2018). Dengan demikian, integrasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS dapat memberikan dukungan yang kuat untuk mengembangkan keterampilan berpikir komputasi siswa dan meningkatkan prestasi akademik mereka dalam fisika dasar (Chen et al., 2021).

b. Penerapan Integrasi dalam Perkuliahan Fisika Dasar

Desain instruksional yang efektif untuk mengintegrasikan CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS dalam perkuliahan fisika dasar melibatkan penggunaan strategi dan metode yang dapat mendukung kolaborasi, interaksi, dan pengembangan CTS (Gong et al., 2020). Pertama, desain instruksional harus mencakup fase pra-kelas dan in-kelas yang mencerminkan prinsip *Flipped Classroom* (Gao & Hew, 2022). Fase pra-kelas mencakup penyediaan materi belajar online dan sumber daya yang relevan untuk membantu siswa mempersiapkan diri secara mandiri. Fase in-kelas harus berfokus pada aktivitas kolaboratif dan interaktif yang melibatkan pemecahan masalah dan eksplorasi konsep fisika dengan menggunakan CTS (Lora, 2020).

Aktivitas kolaboratif dan interaktif yang dirancang untuk mengembangkan CTS dalam konteks fisika dasar melibatkan penggunaan metode pembelajaran seperti diskusi kelompok, pemecahan masalah, dan proyek berbasis tim (Janssen & Kirschner, 2020). Aktivitas ini dapat mencakup simulasi komputer, eksperimen laboratorium, dan pemodelan matematika yang memerlukan siswa untuk menerapkan prinsip fisika dan menggunakan keterampilan berpikir komputasi seperti dekomposisi, abstraksi, pengenalan pola, dan algoritma (Janssen &

Kirschner, 2020). Melalui aktivitas ini, siswa dapat berlatih dan mengasah keterampilan CTS mereka sambil bekerja sama dengan rekan-rekan mereka untuk mencapai pemahaman yang lebih dalam tentang konsep fisika.

Penilaian dan evaluasi dalam konteks integrasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS harus mencakup metode dan instrumen yang mencerminkan pencapaian siswa dalam mengembangkan keterampilan berpikir komputasi (Allsop, 2019; Oyelere et al., 2022). Metode evaluasi seperti evaluasi formatif dan sumatif, serta penilaian berbasis portofolio, dapat digunakan untuk mengukur kemajuan siswa sepanjang kursus. Instrumen penilaian yang efektif meliputi penilaian berbasis proyek, di mana siswa diharuskan untuk menyelesaikan tugas atau proyek yang melibatkan penggunaan CTS, serta penilaian berbasis tes yang mengukur pemahaman konsep fisika dan penerapan keterampilan berpikir komputasi (Valls Pou et al., 2022; Wang, 2023). Melalui penilaian dan evaluasi yang komprehensif, pendidik dapat mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan siswa serta menyesuaikan strategi pengajaran untuk mendukung pengembangan CTS yang berkelanjutan.

c. Dampak Integrasi terhadap Peningkatan CTS Mahasiswa

Integrasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS dalam perkuliahan fisika dasar dapat memiliki dampak positif pada prestasi akademik siswa (Janssen & Kirschner, 2020), penerapan pendekatan integratif ini berpotensi meningkatkan pemahaman konsep, pengetahuan, dan keterampilan siswa dalam fisika. Dalam lingkungan belajar yang aktif dan kolaboratif, siswa lebih mampu mengeksplorasi dan memahami konsep fisika, yang pada akhirnya dapat meningkatkan prestasi akademik mereka.

Integrasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS juga berdampak pada pengembangan kemampuan pemecahan masalah siswa. Aktivitas yang dirancang untuk menggabungkan CTS dalam pembelajaran fisika dasar sering melibatkan pemecahan masalah yang kompleks dan analisis situasi yang melibatkan konsep fisika (Pipitgool & Tuntiwongwanich, 2021). Dalam proses ini, siswa belajar untuk menerapkan keterampilan berpikir komputasi seperti dekomposisi, abstraksi, pengenalan pola, dan algoritma, yang dapat meningkatkan kemampuan mereka

untuk menyelesaikan masalah dan menghadapi tantangan dalam konteks fisika dan di luar itu.

Selain itu, integrasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS berpotensi meningkatkan keterampilan kolaborasi siswa. Dalam lingkungan belajar kolaboratif, siswa bekerja dalam kelompok dan berinteraksi satu sama lain untuk mencapai tujuan pembelajaran bersama (Worrell et al., 2015; Janssen & Kirschner, 2020b; Kirschner et al., 2018). Melalui proses ini, siswa belajar untuk berkomunikasi secara efektif, berbagi ide, dan bekerja sama untuk menyelesaikan tugas dan proyek yang melibatkan konsep fisika dan keterampilan berpikir komputasi. Keterampilan kolaborasi ini tidak hanya penting dalam konteks fisika dasar tetapi juga dalam berbagai disiplin ilmu dan karier di era digital saat ini (Retnowati et al., 2018).

9. Kajian Penelitian yang Relevan

a. Penelitian Terkait Cognitive Load Theory (CLT) dan Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT)

Studi oleh Becker et al. (2020) dengan judul “Investigating Dynamic Visualizations of Multiple Representations Using Mobile Video Analysis in Physics Lessons Effects on Emotion, Cognitive Load and Conceptual Understanding”

Studi ini merupakan penelitian replikasi yang membandingkan efek pembelajaran dari analisis video yang didukung tablet dengan metode pengajaran tradisional menggunakan materi eksperimen non-digital dalam pelajaran fisika SMA. Hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan analisis video pada tablet dapat mengurangi beban kognitif ekstrins dan memberikan dampak positif terhadap emosi siswa. Selain itu, hubungan kausal antara emosi, beban kognitif, dan pencapaian pembelajaran dapat diverifikasi secara empiris melalui pemodelan persamaan struktural.

Studi oleh Radulović et al. (2016) dengan judul “The Effects of Laboratory Inquire-Based Experiments and Computer Simulations on High School Students' Performance and Cognitive Load in Physics Teaching”

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana instruksi pengajaran berbasis eksperimen laboratorium dan simulasi komputer interaktif meningkatkan pemahaman materi fisika pada siswa SMA, dibandingkan dengan metode pengajaran tradisional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instruksi pengajaran berbasis eksperimen laboratorium dan simulasi komputer sama-sama berkontribusi pada peningkatan prestasi siswa dan pengurangan beban kognitif, dibandingkan dengan metode pengajaran fisika tradisional. Efisiensi instruksi untuk kedua strategi pengajaran ini menunjukkan bahwa keduanya merupakan instruksi pengajaran yang efektif.

Studi oleh Saw (2017) dengan judul “Cognitive Load Theory and the Use of Worked Examples as an Instructional Strategy in Physics for Distance Learners: A Preliminary Study”

Artikel ini mengeksplorasi penggunaan contoh yang telah dikerjakan sebagai strategi instruksional dalam kursus fisika tingkat lanjut untuk siswa pendidikan jarak jauh di Universiti Sains Malaysia. Penelitian ini mencatat bahwa tugas pembelajaran dengan beban kognitif yang lebih rendah dapat digunakan untuk mengajarkan distribusi Fermi-Dirac dan mendemonstrasikan penggunaan contoh yang telah dikerjakan secara berurutan. Konten yang diajarkan dalam tahapan menggunakan contoh yang telah dikerjakan dapat disajikan sebagai bentuk percakapan didaktik untuk mengurangi jarak transaksional. Strategi instruksional ini dapat diterapkan pada topik yang menantang dalam domain lain yang memiliki struktur yang baik dalam lingkungan pembelajaran jarak jauh.

Studi oleh Janssen dan Kirschner (2020) dengan judul “Applying collaborative cognitive load theory to computer-supported collaborative learning: towards a research agenda”

Studi ini berpendapat bahwa teori beban kognitif dapat diterapkan dalam pembelajaran kolaboratif yang didukung komputer (CSCL). Dengan menggabungkan konsep seperti memori kerja kolektif, ketergantungan kognitif timbal balik, dan biaya transaksi, teori beban kognitif kolaboratif (CCLT) dapat digunakan untuk merumuskan hipotesis yang dapat diuji untuk isu-isu penting dalam penelitian CSCL. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan agenda

penelitian yang akan membimbing penelitian CSCL masa depan dari perspektif CCLT. Penelitian ini juga menyoroti bagaimana variabel yang terkait dengan karakteristik siswa, kelompok, tugas, dan teknologi dapat diselidiki menggunakan CCLT.

Studi oleh Wang et al. (2020) dengan judul “Learning performance and behavioral patterns of online collaborative learning: Impact of cognitive load and affordances of different multimedia”

Studi ini merancang tiga versi media untuk menyajikan konten pembelajaran yang sama: versi interaktif, versi video, dan versi teks. Studi ini melibatkan 131 siswa kelas 8 yang diminta untuk menyelesaikan lembar kerja kelompok melalui diskusi daring sambil melibatkan materi pembelajaran yang diberikan. Temuan menunjukkan bahwa kelas A (versi interaktif) membentuk suasana belajar yang aktif, kelas B (versi video) menghabiskan lebih banyak waktu menunjukkan ketidaksetujuan karena beban kerja yang berlebihan, dan kelas C (versi teks) memiliki efisiensi yang tinggi dalam pertukaran informasi. Selain itu, kelas A meraih skor tertinggi dalam lembar kerja kelompok dan beban kognitif sedang, kelas B memiliki kinerja pembelajaran yang tidak memuaskan dengan beban kognitif tertinggi, dan kelas C memiliki beban kognitif terendah dengan retensi pengetahuan yang lebih baik daripada kelas A.

Studi oleh Cai dan Gu (2019) dengan judul “Supporting collaborative learning using a diagram-based visible thinking tool based on cognitive load theory”

Studi ini mengeksplorasi hasil individu yang dipengaruhi oleh perancangan proyek pembelajaran kolaboratif yang didukung dengan alat berpikir berbasis diagram berdasarkan teori beban kognitif (CLT). Eksperimen komparatif dirancang untuk mengevaluasi efektivitas alat berpikir berbasis diagram. Sebanyak 49 mahasiswa pascasarjana tahun pertama direkrut dan dibagi menjadi dua kelompok. Dalam eksperimen, siswa kelompok pertama menyelesaikan proyek pembelajaran kolaboratif melalui alat berpikir berbasis diagram, sementara siswa kelompok kedua menyelesaikan proyek yang sama melalui alat berpikir berbasis teks. Hasil menunjukkan bahwa dukungan alat berpikir berbasis diagram yang diintegrasikan dalam pembelajaran kolaboratif dapat memfasilitasi pemahaman individu secara

intensif. Selain itu, alat berpikir berbasis diagram dapat melibatkan siswa kelompok dalam kegiatan pembelajaran yang menuntut secara kognitif secara aktif. Temuan menunjukkan bahwa alat diagram semantik memberikan dukungan teknologi yang menjanjikan saat merancang proyek pembelajaran kolaboratif berbasis CLT. Studi ini berfungsi sebagai dasar dalam perancangan dukungan teknologi untuk proyek pembelajaran kolaboratif berbasis kelas di masa depan.

Studi oleh Zhang et al. (2016) dengan judul “Effectiveness of Collaborative Learning of Computer Programming Under Different Learning Group Formations According to Students' Prior Knowledge: A Cognitive Load Perspective”

Efektivitas Pembelajaran Kolaboratif Pemrograman Komputer dalam Berbagai Formasi Kelompok Belajar Berdasarkan Pengetahuan Sebelumnya Siswa: Perspektif Beban Kognitif. Penelitian ini melaporkan hasil eksperimen yang dirancang untuk menyelidiki efektivitas berbagai formasi kelompok kolaboratif (homogen vs heterogen dalam hal tingkat pengetahuan komputer sebelumnya) untuk mempelajari tugas-tugas kompleks dalam pemrograman komputer dari perspektif teori beban kognitif. Platform pembelajaran berbasis web digunakan untuk mendukung pembelajaran kolaboratif. Hasil eksperimen menunjukkan manfaat keseluruhan dari komposisi heterogen kelompok kolaboratif. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tingkat pengetahuan sebelumnya peserta didik dapat mempengaruhi efektivitas kondisi kolaboratif. Bagi peserta didik dengan tingkat pengetahuan sebelumnya yang lebih rendah, kelompok kolaboratif heterogen lebih efektif daripada kondisi homogen, sementara tidak ada perbedaan antara kondisi tersebut untuk peserta didik yang lebih maju. Peringkat beban kognitif yang lebih rendah dan ukuran efisiensi instruksional yang lebih tinggi untuk kondisi heterogen mendukung penjelasan beban kognitif hasil.

Studi oleh Liao et al. (2019) dengan judul “The interactivity of video and collaboration for learning achievement, intrinsic motivation, cognitive load, and behavior patterns in a digital game-based learning environment”

Interaktivitas video dan kolaborasi untuk pencapaian belajar, motivasi intrinsik, beban kognitif, dan pola perilaku dalam lingkungan pembelajaran berbasis game digital. Studi ini menyelidiki bagaimana penggunaan video instruksional dan

kolaborasi mempengaruhi pencapaian belajar, motivasi intrinsik, beban kognitif, dan perilaku belajar siswa yang mempelajari mekanika Newtonian dalam lingkungan pembelajaran berbasis game digital (DGBL). Peserta adalah 109 siswa kelas tujuh yang secara acak ditugaskan ke salah satu dari empat kelompok eksperimen, membentuk desain faktorial 2×2 , dengan keberadaan atau ketiadaan video instruksional sebagai satu faktor dan kolaborasi sebagai faktor lain. Hasil menunjukkan efek interaksi utama yang signifikan antara penggunaan video instruksional dan kolaborasi pada pencapaian belajar. Sementara DGBL kolaboratif meningkatkan motivasi intrinsik, hasil untuk beban kognitif menunjukkan bahwa penggunaan video instruksional dalam DGBL kolaboratif.

b. Penelitian Terkait Flipped Classroom

Studi oleh Aşıksoy (2018) dengan judul “The effects of the gamified flipped classroom environment (GFCE) on students’ motivation, learning achievements and perception in a physics course”

Dampak Lingkungan Kelas Terbalik yang Dipermainkan (GFCE) terhadap Motivasi, Prestasi Belajar, dan Persepsi Siswa dalam Kursus Fisika. Studi ini mengusulkan lingkungan kelas terbalik yang dipermainkan untuk meningkatkan motivasi, prestasi belajar, dan persepsi siswa tentang lingkungan yang dirancang. Penelitian ini menggunakan desain eksperimental sejati dan melibatkan 61 mahasiswa S1 yang mengambil kursus Fisika-2. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa siswa dari kelompok eksperimental memiliki peningkatan motivasi dan prestasi belajar yang signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol. Selain itu, opini siswa tentang lingkungan kelas yang dipermainkan sangat positif. Hasil penelitian ini dapat membantu dosen dan pengajar dalam mengintegrasikan strategi permainan ke pendekatan kelas terbalik.

Studi oleh Robinson et al. (2020) dengan judul “Using Open-Source Videos to Flip a First-Year College Physics Class”

Menggunakan Video Sumber Terbuka untuk Membalik Kelas Fisika Perguruan Tinggi Tahun Pertama. Penelitian ini menggambarkan dan mengevaluasi penggunaan video sumber terbuka yang ada saat membalikkan kelas fisika dasar. Selama 4 tahun, data dikumpulkan melalui tiga metode, termasuk survei mengenai

persepsi siswa tentang kursus, kinerja pada inventaris konsep, dan catatan institusional untuk memberikan pandangan holistik tentang dampak membalikkan kelas. Meskipun jumlah topik yang dibahas lebih sedikit dalam versi kelas terbalik, tidak ada perbedaan yang signifikan dalam kinerja inventaris konsep sebelum dan sesudah kursus dibalik. Siswa memiliki nilai yang lebih tinggi dalam kursus laboratorium terkait dan kursus penalaran kuantitatif setelah kursus dibalik.

Studi oleh Tomory dan Watson (2015) dengan judul “Flipped Classrooms for Advanced Science Courses”

Kelas Terbalik untuk Kursus Sains Lanjutan. Artikel ini menjelaskan bagaimana masalah terkait kursus sains tingkat lanjutan dan kredit ganda di sekolah menengah bisa diatasi melalui model instruksional kelas terbalik. Artikel ini membahas kebutuhan akan kursus sekolah menengah lanjutan, diikuti oleh analisis kursus sains lanjutan dan reformasi yang mereka alami. Selanjutnya, penjelasan tentang kelas terbalik dan bagaimana mereka dapat menjadi solusi untuk tantangan reformasi yang dialami guru saat mencoba menggabungkan lebih banyak kegiatan berbasis penyelidikan.

Studi oleh de Leng dan Pawelka (2021) dengan judul “The cognitive load of the in-class phase of a flipped classroom course on radiology: Could computer support be of help?”

Dalam penelitian ini, para peneliti menggali bagaimana dukungan komputer dalam kelas terbalik dapat mengurangi beban kognitif yang dialami oleh mahasiswa di bidang radiologi. Dalam kelas ini, siswa menggunakan materi online terlebih dahulu sebelum menghadiri kelas tatap muka. Selama kelas tatap muka, siswa mengerjakan tugas dalam kelompok kecil dan melakukan kegiatan bersama seluruh kelas. Dukungan komputer meliputi program penilaian radiologi dan dashboard pembelajaran yang mencatat dan memvisualisasikan hasil penilaian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban kognitif yang dialami oleh siswa berhasil dikelola melalui penggunaan dashboard pembelajaran khusus. Dengan kata lain, siswa merasa kelas terbalik ini secara kognitif menantang, namun upaya mental yang cukup dapat dihabiskan untuk kinerja tugas dan pembelajaran.

Studi oleh Tonkin et al. (2019) dengan judul “Managing cognitive load with a flipped language class: An ethnographic study of the student experience”

Studi ini menginvestigasi pengalaman mahasiswa dalam belajar tata bahasa bahasa kedua (L2) dalam kelas terbalik. Siswa mengakses instruksi tata bahasa eksplisit dan menyelesaikan latihan tata bahasa sebelum menghadiri kelas tatap muka. Selama kelas, struktur yang telah dipelajari secara singkat diulas oleh siswa dan kemudian diterapkan dalam kegiatan berbasis tugas yang berfokus pada penggunaan L2 secara bermakna.

Hasil survei dan wawancara menunjukkan bahwa siswa merasa kesempatan untuk mengelola kecepatan dan kedalaman interaksi mereka dengan modul tata bahasa online memfasilitasi pembelajaran mereka dan meningkatkan kepercayaan diri mereka. Penelitian ini menyarankan bahwa model pengajaran kelas terbalik dapat mengurangi atau membantu mengelola beban kognitif, sehingga membuat kasus yang kuat untuk menggunakan pendekatan kelas terbalik dalam pengajaran bahasa kedua.

Studi oleh Strelan et al. (2020) dengan judul “The flipped classroom: A meta-analysis of effects on student performance across disciplines and education levels”

Studi meta-analisis ini menggali efek Flipped Classroom pada kinerja siswa, relatif terhadap model pengajaran tradisional, di berbagai disiplin dan tingkat pendidikan. Studi ini mencakup 198 penelitian dengan 33,678 siswa. Secara keseluruhan, Flipped Classroom memiliki efek positif sedang ($g = .50$) pada kinerja siswa. Efek ini ditemukan bermanfaat di semua disiplin ilmu. Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor utama yang berkontribusi pada efek Flipped Classroom adalah kesempatan yang diberikan untuk pembelajaran aktif terstruktur dan pemecahan masalah.

Studi oleh Subramaniam dan Muniandy (2019) dengan judul “The Effect of Flipped Classroom on Students’ Engagement”

Studi ini menginvestigasi efek Flipped Classroom pada tingkat keterlibatan siswa di bidang ilmu komputer di kalangan siswa pra-universitas. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kuasi posttest only. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa dalam kelompok eksperimental (Flipped Classroom) sangat terlibat,

namun tidak ada perbedaan yang signifikan dalam hal keterlibatan siswa antara Flipped Classroom dan didactic classroom (kelas tradisional).

Studi oleh Cheng et al. (2019) dengan judul “Effects of the flipped classroom instructional strategy on students’ learning outcomes: a meta-analysis”

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji efek keseluruhan dari strategi instruksional Flipped Classroom pada hasil belajar siswa. Hasil meta-analisis menunjukkan efek yang signifikan secara statistik ($g=0.193$; $p<.001$) yang menguntungkan strategi instruksional Flipped Classroom. Efek ukuran ini termoderasi oleh area subjek seperti matematika, sains, ilmu sosial, teknik, seni dan humaniora, kesehatan, dan bisnis. Tidak ditemukan bukti bias publikasi dalam data tersebut.

c. Penelitian Terkait Computational Thinking Skills (CTS)

Studi oleh Weller et al. (2022) dengan judul “Development and illustration of a framework for computational thinking practices in introductory physics”

Studi ini mengembangkan sebuah kerangka kerja untuk menggali CTS dalam kursus fisika dasar. Dengan mengkaji literatur terkait dan mengumpulkan data video dari kelas sekolah menengah, peneliti menyusun 14 praktik yang dapat siswa terapkan saat bekerja dengan aktivitas Glowscript VPython. Untuk setiap praktik, peneliti menyajikan data video di kelas sebagai contoh. Dengan demikian, penelitian ini berusaha memberikan cara bagi guru untuk menilai perkembangan CTS siswa dan memberikan dasar bagi peneliti pendidikan fisika untuk mempelajari topik ini secara lebih mendalam.

Studi oleh Mulyati et al. (2022) dengan judul “Development and evaluation of granular simulation for integrating computational thinking into computational physics courses”

Penelitian ini bertujuan mengembangkan lembar kerja yang mengintegrasikan CTS dalam kursus fisika komputasi (CPC). Studi ini menggunakan metode R&D dengan pendekatan model ADDIE. Hasil penilaian oleh ahli menunjukkan skor yang sangat baik, sehingga media ini layak digunakan dalam CPC. Setelah uji coba pada siswa yang mengikuti CPC ($n=31$), penelitian menunjukkan bahwa kursus yang dimodifikasi dapat meningkatkan kemampuan

CTS secara signifikan (p value <0.05). Namun, ditemukan bahwa pembelajaran kooperatif sebagai bagian dari CTS tidak mengalami peningkatan (p value >0.05). Eksperimen ini dilakukan di tengah pandemi COVID-19, yang berdampak pada keterampilan kolaboratif siswa dalam kursus.

Studi oleh Orban dan Teeling-Smith (2020) dengan judul “Computational Thinking in Introductory Physics”

Penelitian ini mencoba merangkum apa yang dimaksud dengan CTS untuk kelas fisika pendahuluan (tingkat sekolah menengah atau perguruan tinggi awal) dan bagaimana instruktur mungkin sudah menggabungkan elemen CTS dalam kelas mereka tanpa menyadarinya. Penulis memberikan referensi untuk pembaca yang tertarik dalam topik ini secara lebih rinci dan mendalam. Penelitian ini juga bermanfaat bagi instruktur fisika yang mengintegrasikan ilmu komputer ke dalam kelas mereka melalui kegiatan pengkodean di VPython, JavaScript, dan bahasa lainnya.

Studi oleh Qualls dan Sherrell (2010) dengan judul “Why Computational Thinking Should be Integrated Into The Curriculum”

Penelitian ini meninjau upaya terkini untuk mengintegrasikan CTS ke dalam kurikulum pendidikan dasar, menengah, dan pasca-menengah. CTS adalah pendekatan pemecahan masalah yang menggabungkan keterampilan logika dengan konsep-konsep inti ilmu komputer. Artikel ini bermanfaat bagi instruktur yang tertarik untuk menelusuri topik penting ini.

Studi oleh Grover dan Pea (2013) dengan judul “Computational Thinking in K-12: A Review of the State of the Field”

Artikel ini membahas perkembangan pemikiran komputasi dalam pendidikan K-12, dengan menggunakan artikel Jeannette Wing tentang CTS sebagai titik awal. Penelitian ini mengidentifikasi celah dalam penelitian sebelumnya dan menetapkan prioritas untuk penyelidikan lebih lanjut. Penelitian ini berupaya untuk memahami mengapa artikel Wing menginspirasi banyak pihak dan bagaimana mereka telah mengartikan definisi Wing, serta kemajuan yang telah dicapai sejak publikasi artikel tersebut.

Studi oleh Perković et al. (2010) dengan judul “A Framework for Computational Thinking across the Curriculum”

Studi ini menyajikan kerangka kerja untuk mengimplementasikan pemikiran komputasi di berbagai kursus pendidikan umum. Kerangka kerja ini dirancang untuk digunakan oleh dosen yang tidak memiliki pelatihan formal dalam teknologi informasi agar dapat memahami dan mengintegrasikan CTS ke dalam kursus pendidikan umum mereka. Kerangka kerja ini mencakup contoh pemikiran komputasi dalam berbagai kursus pendidikan umum, serta contoh kegiatan di kelas, tugas, dan penilaian lainnya untuk kursus tersebut. Contoh-contoh dalam berbagai kursus dihubungkan dan dibedakan menggunakan kategori yang diambil dari Prinsip-Prinsip Besar Komputasi Denning, sehingga jenis pemikiran komputasi yang serupa dalam konteks yang berbeda dapat disatukan.

Studi oleh Kong dan Lai (2023) dengan judul “Effects of a teacher development program on teachers' knowledge and collaborative engagement, and students' achievement in computational thinking concepts”

Studi ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana program pengembangan guru dapat meningkatkan pengetahuan dan keterlibatan kolaboratif guru, yang pada gilirannya mempengaruhi prestasi belajar siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengetahuan konten dan keterlibatan kolaboratif guru secara signifikan ditingkatkan melalui program ini, yang berdampak signifikan pada prestasi siswa. Selain itu, pengalaman mengajar guru, tetapi tidak dengan jenis kelamin atau latar belakang pendidikan mereka, juga dapat mempengaruhi prestasi siswa.

Studi oleh Lei et al. (2020) dengan judul “Computational thinking and academic achievement: A meta-analysis among students”

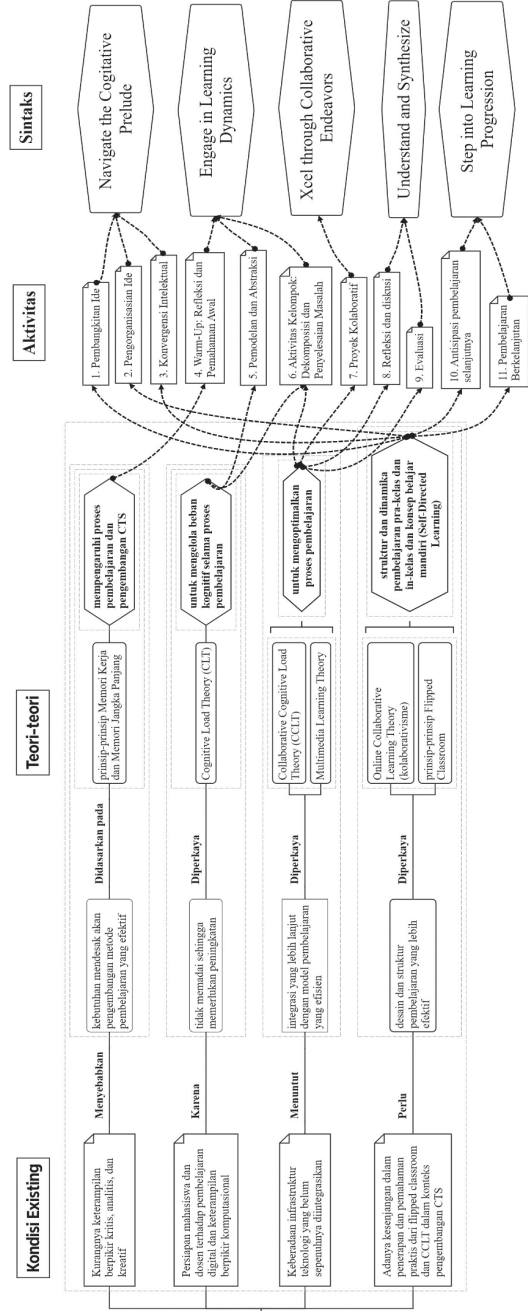
Meta-analisis ini meneliti hubungan antara pemikiran komputasi dan prestasi akademik siswa, mulai dari siswa sekolah dasar hingga mahasiswa universitas. Hasil dari 34 studi menunjukkan korelasi positif antara pemikiran komputasi dan prestasi akademik. Analisis moderator menemukan bahwa korelasi ini lebih kuat di antara siswa dari budaya Timur daripada budaya Barat, lebih kuat di antara siswa sekolah dasar, lebih lemah di antara siswa sekolah menengah, dan paling lemah di antara mahasiswa universitas.

Studi oleh Chongo et al. (2020) dengan judul “Level of Computational Thinking Skills among Secondary Science Student: Variation across Gender and Mathematics Achievement”

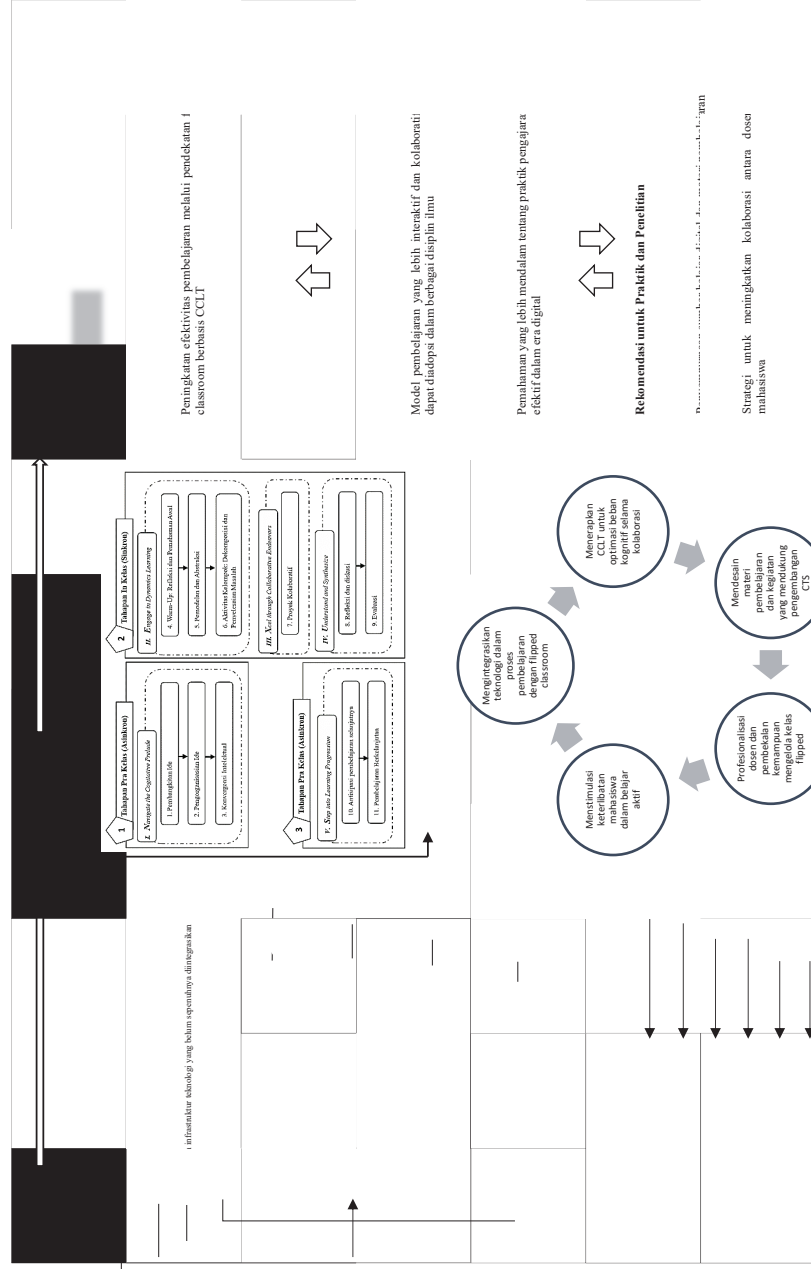
Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat keterampilan CTS siswa berdasarkan jenis kelamin dan hubungannya dengan pencapaian matematika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan CTS siswa berada pada tingkat kehormatan. Hubungan antara keterampilan CTS dan pencapaian matematika secara statistik signifikan, sementara tidak ada perbedaan signifikan antara jenis kelamin dalam keterampilan CTS.

B. Kerangka Berpikir

Berdasarkan kajian teori dan literatur serta analisis kebutuhan, maka penelitian dan pengembangan model pembelajaran sebagai upaya untuk menyelesaikan permasalahan yang telah diuraikan menjadi penting untuk dilakukan. Mengingat keterbatasan dalam memvisualisasikan, kerangka berpikir pengembangan model terbagi dalam tiga gambar yang mengacu pada kerangka berpikir (Gambar 2.7) dan kerangka hipotetik model pembelajaran *flipped classroom* fisika dasar berbasis CCLT yang dikembangkan (Gambar 2.8).



Gambar 2.7. Kerangka Berpikir Disertasi



Gambar 2.8. Kerangka Berpikir Disertasi (lanjutan)

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini mengadaptasi *Mixed Methods Evaluation Design*, yang merupakan desain penelitian yang kompleks di mana data kuantitatif dan kualitatif diintegrasikan dalam kerangka evaluasi Creswell dan Creswell (2023). Desain ini bertujuan untuk melibatkan proses penelitian di mana data kuantitatif dan kualitatif serta integrasinya membentuk satu atau lebih langkah dalam proses tersebut. Pendekatan ini biasanya digunakan dalam evaluasi program, di mana peneliti menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk mendukung pengembangan, adaptasi, dan evaluasi model pembelajaran, eksperimen, atau kebijakan.

Produk yang ingin dikembangkan dan dievaluasi dalam penelitian ini adalah model pembelajaran NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan *flipped classroom* yang dirancang untuk mengoptimalkan CTS mahasiswa. Wujud produk secara nyata yang dihasilkan dalam penelitian ini: 1). Buku model pembelajaran, 2). Perangkat perkuliahan seperti: RPS, instrumen tes, Lembar Kerja Mahasiswa.

B. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian berdasarkan Creswell dan Creswell (2023) yang dilaksanakan dalam penelitian ini secara berurutan terdiri dari lima tahapan, yaitu: tahap penilaian kebutuhan (*need assessment*), konseptualisasi teori khusus untuk pengaturan (*theory conceptualization specific to setting*), pengembangan produk (*product development*), implementasi model dan uji coba (*model implementation and test*), dan tindak lanjut model pembelajaran yang dikembangkan dan penyempurnaan (*program follow-up and refinement*) seperti disajikan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Diagram desain evaluasi metode campuran (*Mixed Methods Evaluation Design*) Adaptasi dari Creswell dan Creswell (2023)

1. Penilaian Kebutuhan (*Need Assessment*)

Di tahap ini, penelitian berfokus pada pengumpulan data untuk mengidentifikasi kebutuhan, kekuatan, dan tantangan yang dihadapi dalam perkuliahan fisika dasar. Metode yang digunakan meliputi wawancara, pengamatan, dan analisis dokumen, yang akan memberikan wawasan mendalam tentang konteks dan kebutuhan pembelajaran saat ini.

a. Populasi, Sampel, dan Sampling

Populasi dalam penilaian kebutuhan ini mencakup seluruh perguruan tinggi (PT) di Provinsi Lampung. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah non-random sampling, tepatnya purposive sampling (sampling bertujuan), yaitu teknik pemilihan sampel berdasarkan pertimbangan dan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Kriteria tersebut meliputi: (1) keberadaan program studi Pendidikan Fisika, (2) keterlibatan aktif dosen dan mahasiswa dalam perkuliahan Fisika Dasar, dan (3) kesediaan institusi serta partisipan untuk terlibat dalam penelitian. Pemilihan sampel dilakukan secara selektif dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya serta kebutuhan untuk memperoleh data yang kaya dan kontekstual. Berdasarkan kriteria tersebut, tiga perguruan tinggi dipilih sebagai lokasi penilaian kebutuhan, yaitu: Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, Universitas Lampung, dan Universitas Muhammadiyah Metro.

b. Teknik Pengumpulan Data (Instrumen yang digunakan)

Teknik pengumpulan data dalam tahap ini melibatkan tiga metode untuk memastikan kelengkapan dan keakuratan informasi yang diperoleh, antara lain:

- 1) Wawancara Semi-terstruktur: Responden dari wawancara adalah dosen dan mahasiswa yang terlibat dalam pembelajaran fisika dasar. Instrumen wawancara diadaptasi dari penelitian oleh Kumar et al. (2020) yang mencakup pertanyaan terbuka yang dirancang untuk mengeksplorasi pengalaman, persepsi, dan tantangan yang dihadapi oleh responden dalam perkuliahan.
- 2) Observasi Kelas: Observasi langsung dilakukan untuk menilai metode pengajaran yang saat ini digunakan, interaksi antara dosen dan mahasiswa, serta penggunaan teknologi dan sumber belajar. Instrumen ini diadaptasi dari penelitian oleh Attard dan Holmes (2022). Pengamat menggunakan checklist

observasi untuk mencatat aspek-aspek kritis yang diamati selama proses pembelajaran berlangsung.

- 3) Analisis Dokumen: Dokumen yang berkaitan dengan perkuliahan, seperti Rencana Perkuliahan Semester (RPS), materi pembelajaran, dan hasil evaluasi mahasiswa, dikumpulkan dan dianalisis. Kerangka analisis tematik yang digunakan, diadopsi dari penelitian yang telah dilakukan oleh Morgan (2022), ini bertujuan untuk memahami kerangka kurikulum saat ini dan bagaimana materi diajarkan dan dinilai.

c. Teknik Analisis Data

Data yang dikumpulkan melalui wawancara, observasi, dan analisis dokumen dianalisis menggunakan pendekatan kualitatif. Langkah-langkah analisis data meliputi:

- 1) Kodifikasi Data: Data yang diperoleh dari wawancara dan catatan observasi dikodifikasi. Proses ini melibatkan pengidentifikasian tema-tema utama, pola, dan kategori dalam data.
- 2) Analisis Tematik: Tema-tema yang muncul dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi masalah utama, kebutuhan, serta kekuatan dan kelemahan dalam pengajaran fisika dasar saat ini.
- 3) Triangulasi Data: Untuk memastikan validitas dan reliabilitas temuan, data dari berbagai sumber dikonfirmasi dan dibandingkan satu sama lain melalui proses triangulasi.
- 4) Penyajian Temuan: Hasil analisis disajikan dalam bentuk naratif yang menggambarkan secara mendetail karakteristik pengajaran fisika dasar saat ini, termasuk tantangan dan kebutuhan yang diidentifikasi.
- 5) Berikut adalah langkah-langkah teknik analisis data yang dikumpulkan menggunakan checklist observasi:

Table 3.4. Langkah-langkah teknik analisis data observasi

Langkah	Deskripsi
Pengumpulan Data	Mengumpulkan semua data dari pengamatan kelas dengan menggunakan skala Likert untuk setiap aspek dan sub-aspek pembelajaran.
Pengkodean dan Tabulasi	Mengkodekan setiap respons dalam skala Likert (1-5), lalu menghitung skor total untuk setiap aspek dan sub-aspek.
Analisis Deskriptif	Melakukan analisis deskriptif menggunakan mean, median, dan modus untuk setiap aspek yang diamati.
Identifikasi Pola dan Tren	Analisis data untuk mengidentifikasi pola atau tren, seperti aspek yang konsisten mendapat skor tinggi atau rendah, serta membandingkan hasil antar sesi atau kategori observasi.
Interpretasi	Menginterpretasikan hasil dalam konteks tujuan penelitian. Mengkaji bagaimana berbagai aspek pembelajaran mempengaruhi Computational Thinking Skills dan pengelolaan beban kognitif mahasiswa, serta menentukan implikasi untuk pengembangan model pembelajaran.

Keterangan skor akhir:

Table 3.5. Skala Kriteria Observasi

Skala Likert (Rata-rata)	Kategori
≤ 2.0	Sangat Kurang
>2.0 dan ≤ 2.9	Kurang Baik
>2.9 dan ≤ 3.9	Cukup Baik
>3.9 dan ≤ 4.4	Baik
>4.4 dan ≤ 5.0	Sangat Baik

Hasil dari tahap penilaian kebutuhan ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan model pembelajaran NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan flipped classroom yang dirancang untuk mengoptimalkan Computational Thinking Skills mahasiswa.

2. Konseptualisasi Teori Khusus untuk Pengaturan (*Theory Conceptualization Specific to Setting*): Literature review

Tahap ini melibatkan pengembangan konsep teoretis yang mengintegrasikan CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS dalam konteks perkuliahan fisika dasar. Penelitian ini melakukan tinjauan literatur komprehensif dengan metode PRISMA (Page et al., 2021) untuk membentuk dasar teori yang kokoh.

a. Teknik Pengumpulan Data

2) Pencarian Literatur:

Dalam rangka mengumpulkan sumber-sumber yang relevan dan mutakhir untuk penelitian ini, strategi pencarian literatur yang sistematis diimplementasikan. Langkah-langkah yang diambil meliputi:

- a) Penggunaan Basis Data Elektronik: Untuk memulai proses pencarian, digunakan berbagai basis data elektronik yang terpercaya dan umum digunakan dalam riset akademik. Basis data ini meliputi Google Scholar, ERIC, dan JSTOR. Penggunaan berbagai basis data ini bertujuan untuk memperoleh cakupan literatur yang luas dan beragam.
- b) Penerapan Kata Kunci Spesifik: Pencarian literatur difokuskan dengan menggunakan serangkaian kata kunci yang telah ditentukan berdasarkan topik penelitian. Kata kunci ini mencakup "*Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT)*", "*Flipped Classroom*", dan "*Computational Thinking Skills (CTS)*". Penggunaan kata kunci yang spesifik ini diharapkan dapat memudahkan proses penyaringan dan memastikan relevansi materi yang ditemukan dengan topik penelitian.
- c) Filter Waktu untuk Relevansi: Untuk memastikan bahwa literatur yang diakses dan dianalisis adalah yang terkini dan paling relevan dengan perkembangan terbaru dalam bidang studi, diterapkan filter waktu dalam pencarian literatur. Hal ini penting mengingat bidang pendidikan dan teknologi mengalami perkembangan yang cepat, sehingga informasi terbaru sangatlah krusial.

3) Seleksi Literatur:

Proses seleksi literatur merupakan langkah penting dalam menentukan kualitas dan relevansi sumber yang digunakan dalam penelitian. Langkah-langkah dalam proses seleksi ini meliputi:

- a) Penerapan Kriteria Inklusi dan Eksklusi: Untuk memastikan bahwa literatur yang dipilih relevan dengan penelitian, diterapkan serangkaian kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria ini dapat mencakup jenis publikasi, seperti jurnal peer-reviewed, fokus penelitian yang spesifik, dan relevansi langsung dengan topik

penelitian, yaitu *Collaborative Cognitive Load Theory*, *Flipped Classroom*, dan *Computational Thinking Skills*.

- b) **Skrining Judul dan Abstrak:** Sebagai langkah awal dalam proses seleksi, judul dan abstrak dari literatur yang ditemukan diskriminasi untuk menilai kesesuaian mereka dengan topik penelitian. Skrining ini membantu dalam mengeliminasi sumber yang tidak relevan sejak awal proses seleksi.

4) Pengumpulan Data dari Literatur:

Setelah seleksi literatur, langkah selanjutnya adalah pengumpulan data dari literatur yang terpilih. Proses ini mencakup:

- a) **Ekstraksi Data:** Data yang relevan, termasuk teori, temuan empiris, metodologi yang digunakan, dan kesimpulan utama, akan diekstraksi dari literatur yang terpilih. Proses ini penting untuk memahami berbagai perspektif dan temuan yang ada dalam literatur terkait.
- b) **Organisasi Data:** Data yang diekstraksi diorganisir dalam format yang sistematis dan mudah diakses, seperti tabel atau database. Pengorganisasian data ini penting untuk memudahkan analisis dan sintesis data dalam tahapan selanjutnya dari penelitian. Format ini juga memungkinkan peneliti untuk dengan mudah meninjau dan mengacu pada data tersebut selama proses penelitian berlangsung.

b. Teknik Analisis Data

1) Analisis Deskriptif:

Dalam tahap ini, peneliti mengumpulkan dan merangkum temuan dari berbagai sumber literatur untuk membangun pemahaman yang komprehensif tentang CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS. Langkah ini melibatkan identifikasi tema utama, pola, dan tren dalam literatur, mencakup berbagai pendekatan dan aplikasi CCLT, *Flipped Classroom*, dan CTS dalam konteks pendidikan.

2) Analisis Tematik:

Data dari literatur dikelompokkan berdasarkan tema atau kategori yang muncul. Proses ini meliputi strategi dalam CCLT, komponen kunci dari *Flipped Classroom*, dan aspek penting dalam pengembangan CTS. Analisis ini bertujuan

untuk mengungkap hubungan antar tema dan bagaimana tema-tema tersebut saling berkontribusi dalam pembentukan teori yang lebih luas mengenai pembelajaran dan pengajaran.

3) Penggunaan Statistik Deskriptif:

Metode statistik deskriptif diterapkan untuk merangkum informasi kuantitatif dari literatur, termasuk prevalensi penggunaan CCLT dalam berbagai konteks pendidikan atau efektivitas *Flipped Classroom* dalam peningkatan CTS. Hal ini membantu dalam meringkas dan menyajikan data kuantitatif secara jelas dan mudah dipahami.

4) Sintesis dan Interpretasi:

Tahap ini melibatkan integrasi dan interpretasi temuan dari berbagai sumber literatur untuk mengembangkan pemahaman holistik tentang topik penelitian. Interpretasi hasil analisis dilakukan dalam konteks teori yang ada dan praktik pendidikan terkini, memungkinkan peneliti untuk menginformasikan pengembangan model pembelajaran baru.

5) Dokumentasi dan Pelaporan:

Laporan *literature review* yang sistematis disusun, mencakup metodologi, hasil analisis, dan sintesis temuan. Ini bertujuan untuk mendokumentasikan proses penelitian dan temuan secara sistematis, memberikan landasan bagi pengembangan model pembelajaran yang akan dirancang. Laporan ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan teori dan praktik selanjutnya dalam konteks pengaturan penelitian.

Dengan menggunakan pendekatan ini, *literature review* kuantitatif dalam tahap konseptualisasi teori menjadi lebih sistematis dan objektif, memberikan landasan yang kuat untuk pengembangan model pembelajaran yang inovatif dan relevan.

Kedua tahap ini, dengan kerangka *exploratory sequential design*, menghasilkan data yang saling terintegrasi sehingga memungkinkan pembentukan teori berdasarkan gabungan temuan kualitatif dan kuantitatif. Proses integrasi ini penting untuk memastikan bahwa model pembelajaran yang dikembangkan tidak hanya teoretis dan berbasis bukti penelitian, tetapi juga sesuai dengan kebutuhan

dan konteks spesifik mahasiswa di bidang fisika dasar. Berikut adalah tabel yang mengilustrasikan integrasi data dari Tahap Penilaian Kebutuhan dan Tahap Konseptualisasi Teori:

Table 3.6. Tabel Integrasi Data: Tahap Penilaian Kebutuhan dan Tahap Konseptualisasi Teori

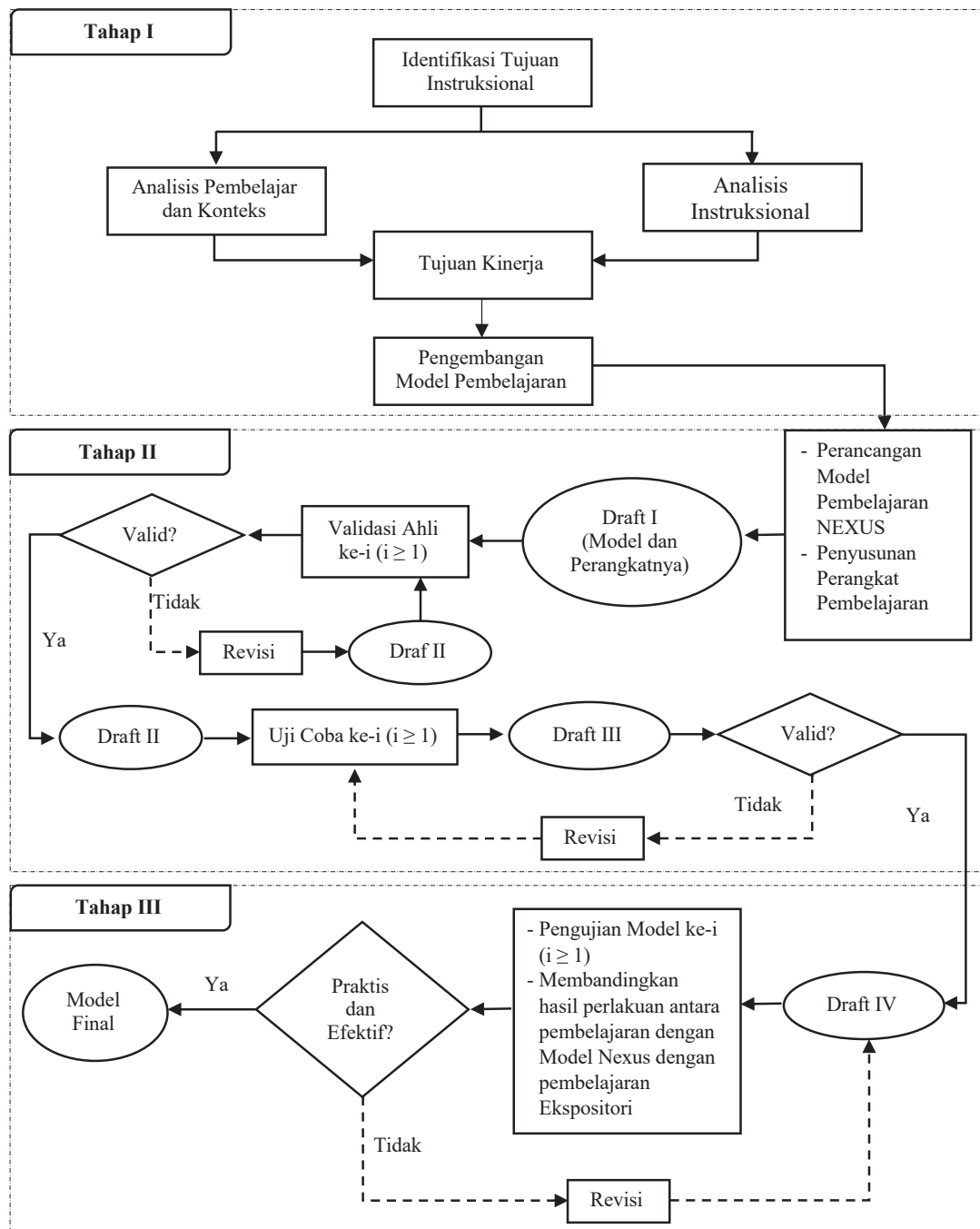
Aspek yang Diteliti	Data dari Tahap Penilaian Kebutuhan (Kualitatif)	Data dari Tahap Konseptualisasi Teori (Kuantitatif)	Integrasi Data: Pembentukan Teori
Kebutuhan dan Tantangan	Wawancara dan observasi mengungkap tantangan nyata dalam pengajaran fisika dasar, seperti kesulitan dalam pemahaman konsep dan interaksi mahasiswa.	Review literatur mengidentifikasi kecenderungan dan metode yang efektif dalam pengajaran fisika dasar di level global.	Menggabungkan temuan untuk memahami kesenjangan antara praktik pengajaran saat ini dan metode yang disarankan oleh penelitian terbaru.
Karakteristik Pembelajaran Efektif	Analisis dokumen perkuliahan dan tanggapan dari dosen/mahasiswa mengenai metode pembelajaran yang lebih disukai dan efektif.	Analisis statistik dari studi terdahulu mengenai model pembelajaran efektif, termasuk CCLT dan Flipped Classroom.	Menyelaraskan preferensi lokal dengan temuan penelitian untuk mengembangkan model pembelajaran yang sesuai dengan konteks spesifik.
Integrasi CCLT dan Flipped Classroom	Umpan balik tentang pengalaman mahasiswa dengan model pembelajaran saat ini dan keinginan untuk inovasi.	Data kuantitatif menunjukkan efektivitas dan aplikabilitas CCLT dan Flipped Classroom dalam berbagai setting pendidikan.	Menggabungkan persepsi mahasiswa dengan bukti penelitian untuk merancang model pembelajaran yang inovatif dan relevan.
Optimalisasi CTS	Identifikasi kebutuhan spesifik mahasiswa dalam pengembangan Computational Thinking Skills melalui wawancara dan observasi.	Review literatur tentang strategi terbaik untuk mengembangkan CTS dalam pendidikan fisika.	Integrasi kebutuhan praktis mahasiswa dengan teori dan bukti penelitian untuk meningkatkan efektivitas pengajaran CTS.
Praktikalitas dan Penerimaan	Respons dosen dan mahasiswa terhadap konsep pembelajaran yang ada dan preferensi mereka.	Data kuantitatif tentang kepraktisan dan penerimaan model pembelajaran inovatif di institusi pendidikan lain.	Mengkombinasikan persepsi lokal dengan data kuantitatif untuk menilai dan meningkatkan praktikalitas dan penerimaan model pembelajaran yang dikembangkan.

Aspek yang Diteliti	Data dari Tahap Penilaian Kebutuhan (Kualitatif)	Data dari Tahap Konseptualisasi Teori (Kuantitatif)	Integrasi Data: Pembentukan Teori
Rekomendasi untuk Implementasi	Saran dari dosen dan mahasiswa tentang implementasi model pembelajaran yang efektif.	Hasil kuantitatif dari studi terdahulu mengenai faktor-faktor kunci dalam implementasi model pembelajaran sukses.	Merumuskan rekomendasi berdasarkan kebutuhan dan preferensi lokal yang disesuaikan dengan bukti terbaik dari penelitian global.

3. Pengembangan Produk (*Product Development*): Pengembangan model Pembelajaran Nexus

Pada tahap analisis kebutuhan, penelitian ini melibatkan tiga perguruan tinggi di Provinsi Lampung, yaitu Universitas Lampung (Unila), Universitas Muhammadiyah Metro (UM Metro), dan Universitas Islam Negeri (UIN) Raden Intan Lampung. Data yang diperoleh dari Unila dan UM Metro pada tahap ini memberikan kontribusi penting dalam merumuskan arah pengembangan model pembelajaran. Informasi yang dihimpun meliputi kondisi aktual pembelajaran Fisika Dasar, tantangan pedagogis yang dihadapi dosen, penggunaan teknologi pembelajaran, serta kebutuhan mahasiswa dalam memahami konsep-konsep fisika secara lebih efektif. Temuan ini menjadi dasar dalam merancang model pembelajaran NEXUS yang mengintegrasikan prinsip Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT) dan pendekatan flipped classroom, dengan kerangka desain instruksional yang diadaptasi dari Dick et al. (2015) serta tahapan penelitian pengembangan menurut Sunyono dan Ibrahim (2014).

Pada tahap implementasi dan uji coba model, fokus penelitian diarahkan pada UIN Raden Intan Lampung. Keputusan ini diambil berdasarkan pertimbangan efisiensi sumber daya (waktu, biaya, dan tenaga), serta adanya kendala teknis di dua perguruan tinggi lainnya yang menghambat pelaksanaan lebih lanjut. Untuk memperluas konteks penerapan model, pengujian dilakukan pada mahasiswa dari beberapa program studi berbeda, yaitu Pendidikan Biologi, Biologi (Sains), dan Sistem Informasi.



Keterangan:

- = Aktivitas
- = Hasil (Berupa Produk model dan Perangkatnya)
- = Pilihan terhadap analisis
- = Arah proses/aktivitas berikutnya
- → = Arah Siklus kegiatan/aktivitas

Gambar 3.10. Langkah-langkah Adaptasi Desain Instruksional oleh Dick et al. (2015) dan tahapan serta aktivitas Penelitian Pengembangan Sunyono dan Ibrahim (2014)

Berikut ini adalah penyesuaian langkah-langkah dalam Dick et al. (2015) dan Sunyono dan Ibrahim (2014) yang relevan dengan penelitian ini.

a. Tahap I. Analisis Landasan Perancangan Model

1) Identifikasi Tujuan Instruksional

Langkah ini berfungsi sebagai landasan pengembangan model dengan menetapkan tujuan instruksional yang spesifik dan relevan dengan penerapan teori CCLT dan pendekatan *flipped classroom* untuk mengoptimalkan CTS. Tujuan pembelajaran diidentifikasi melalui hasil penilaian kebutuhan (*Need Assessment*) yang telah dilakukan pada tahap awal dalam *Mixed Methods Evaluation Design*. Penilaian kebutuhan tersebut memberikan informasi mendalam mengenai kompetensi-kompetensi utama yang perlu dicapai mahasiswa, seperti keterampilan pemecahan masalah, kemampuan kolaboratif, dan optimalisasi keterampilan berpikir komputasional. Hasil ini diintegrasikan untuk menyusun tujuan pembelajaran yang menyeluruh, mencakup aspek kognitif, keterampilan, dan afektif, yang secara langsung mendukung penerapan *flipped classroom* dan teori CCLT untuk menciptakan pembelajaran yang optimal dan sesuai dengan karakteristik mahasiswa.

2) Analisis Instruksional

Tahap analisis instruksional bertujuan untuk menguraikan langkah-langkah dan prosedur spesifik yang harus dilalui mahasiswa untuk mencapai tujuan pembelajaran. Proses ini dilakukan dengan melakukan analisis yang mendalam terhadap kompetensi CTS, meliputi elemen-elemen seperti abstraksi, dekomposisi, pengenalan pola, dan algoritma, serta aspek-aspek kolaboratif dan beban kognitif yang muncul dalam pengaturan *flipped classroom*. Analisis ini menjadi acuan dalam mengembangkan konten dan kegiatan pembelajaran yang terstruktur, untuk memastikan bahwa setiap elemen dalam teori CCLT diterapkan secara optimal. Dalam konteks *flipped classroom*, analisis ini juga mempertimbangkan bagaimana mahasiswa melakukan persiapan mandiri sebelum tatap muka serta bagaimana kegiatan kolaboratif berlangsung di dalam kelas untuk mengurangi beban kognitif yang dialami mahasiswa selama pembelajaran.

3) Analisis Pembelajar dan Konteks

Pada tahap ini, identifikasi karakteristik mahasiswa dilakukan untuk memahami profil peserta didik, seperti latar belakang akademik, kemampuan awal dalam CTS, keterampilan kolaborasi, dan tingkat penguasaan materi yang relevan. Selain itu, konteks pengaturan *flipped classroom* juga dianalisis, termasuk faktor-faktor seperti akses terhadap teknologi, kesiapan mahasiswa dalam pembelajaran mandiri, dan keterbatasan waktu untuk pembelajaran kolaboratif di kelas. Hasil dari tahap ini menjadi dasar untuk menyusun strategi instruksional yang lebih adaptif terhadap kondisi nyata mahasiswa, serta memastikan bahwa desain pembelajaran mendukung kebutuhan spesifik dalam pengaturan *flipped classroom* berbasis CCLT. Identifikasi karakteristik dan konteks ini memungkinkan penyesuaian model agar lebih sesuai dengan tingkat kemampuan dan kesiapan mahasiswa, sehingga mereka dapat lebih mudah menguasai keterampilan CTS dalam suasana kolaboratif.

4) Perumusan Tujuan Kinerja

Tujuan kinerja yang dirumuskan pada tahap ini bersifat spesifik dan terukur, menggambarkan hasil pembelajaran yang harus dicapai mahasiswa sebagai indikator keberhasilan dalam menguasai keterampilan CTS dan kemampuan kolaboratif. Tujuan ini dirancang untuk memastikan bahwa mahasiswa tidak hanya menguasai konsep-konsep dasar tetapi juga mampu menerapkannya secara praktis dalam konteks CCLT dengan pendekatan *flipped classroom*. Dengan perumusan tujuan kinerja yang jelas, dosen dan mahasiswa memiliki panduan yang konkrit mengenai hasil yang diharapkan dari setiap tahapan pembelajaran. Ini menjadi tolok ukur untuk melakukan evaluasi, baik secara formatif selama proses pembelajaran maupun sumatif pada akhir proses, untuk menilai pencapaian kinerja mahasiswa dalam setiap keterampilan CTS yang ditargetkan.

b. Tahap II. Pengembangan dan Validasi Model Pembelajaran

Tahap ini berfokus pada perancangan awal model pembelajaran, validasi ahli, serta uji coba model sebelum diterapkan secara lebih luas. Langkah-langkah

dalam tahap ini melibatkan proses iteratif, di mana model yang dikembangkan dievaluasi dan direvisi berdasarkan masukan dari para ahli dan hasil uji coba lapangan.

1) Perancangan Model Pembelajaran NEXUS dan Penyusunan Perangkat Pembelajaran

Pada tahap ini, model pembelajaran NEXUS dikembangkan berdasarkan hasil analisis pada tahap sebelumnya. Model ini dirancang untuk mengintegrasikan CCLT, *flipped classroom*, dan CTS dalam pembelajaran fisika berbasis proyek kolaboratif.

Langkah-langkah utama dalam perancangan ini mencakup:

- i. Menentukan struktur dan tahapan pembelajaran dalam model NEXUS, termasuk pembelajaran mandiri sebelum kelas, diskusi kolaboratif, dan aktivitas berbasis proyek.
- ii. Menyusun perangkat pembelajaran yang mencakup rencana pembelajaran Semester (RPS), bahan ajar berbasis *flipped classroom*, media interaktif, serta instrumen evaluasi untuk menilai beban kognitif, keterampilan berpikir komputasional, dan tingkat kolaborasi mahasiswa.
- iii. Mengembangkan skenario pembelajaran yang memastikan pengurangan beban kognitif melalui strategi *scaffolding* dan interaksi kolaboratif.

Hasil dari tahap ini berupa Draft I, yang mencakup desain awal model pembelajaran serta perangkat pendukungnya.

2) Validasi Ahli

Setelah Draft I model pembelajaran NEXUS disusun, dilakukan validasi ahli untuk menilai kelayakan model serta seluruh perangkat pembelajaran sebelum diimplementasikan dalam uji coba. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan telah sesuai dengan prinsip CCLT dan *flipped classroom*, mampu mengoptimalkan CTS serta keterampilan kolaboratif mahasiswa, dan efektif dalam mengelola beban kognitif agar tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah. Proses validasi ini melibatkan pakar pendidikan fisika, ahli desain pembelajaran, serta pakar teknologi pendidikan, yang memberikan masukan

terkait kesesuaian konsep, struktur, dan kelayakan implementasi model dalam pembelajaran berbasis *flipped classroom* dan proyek kolaboratif.

Validasi model pembelajaran ini meliputi validasi isi dan konstruk terhadap seluruh perangkat pembelajaran yang mendukung implementasi model NEXUS. Perangkat yang divalidasi mencakup Buku Model, Rencana Pembelajaran Semester (RPS), *Learning Management System* (LMS), instrumen soal, dan instrumen angket. Validasi isi bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen model dan perangkat pembelajaran telah sesuai dengan indikator penelitian serta mencerminkan prinsip CCLT dan *flipped classroom* dengan tepat. Sementara itu, validasi konstruk dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian struktur model dan perangkat pembelajaran dengan teori yang mendasarinya, sekaligus menilai relevansinya dalam meningkatkan CTS dan keterampilan kolaboratif mahasiswa.

Validasi dilakukan menggunakan indeks Aiken's V, dengan melibatkan lima validator ahli. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert 1–5, dan indeks Aiken's V dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{\sum s}{n(k - 1)}$$

dengan:

- s = Skor yang diberikan validator dikurangi skor terendah pada skala (untuk skala 1–5, $s = r - 1$).
- n = Jumlah validator (dalam penelitian ini, $n = 5$).
- k = Jumlah kategori pada skala penilaian ($k = 5$).

Instrumen dianggap valid jika $V \geq 0.8$. Interpretasi hasil validasi mengikuti kriteria berikut:

Table 3.7. Kriteria validasi ahli

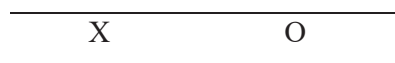
Kategori	Kriteria Aiken's V
Sangat Baik	$V \geq 0.9$
Baik	$0.8 \leq V < 0.9$
Cukup Baik	$0.7 \leq V < 0.8$
Kurang Baik	$V < 0.7$

Hasil validasi ini digunakan untuk menyempurnakan model pembelajaran serta seluruh perangkat pendukungnya, sehingga perangkat pembelajaran yang dihasilkan memiliki kualitas tinggi dalam mendukung implementasi model NEXUS berbasis CCLT dan *flipped classroom*. Validasi ini juga memastikan bahwa RPS, LMS, instrumen soal, dan angket memiliki validitas isi dan konstruk yang kuat, serta siap untuk digunakan dalam tahap uji coba dan implementasi lebih lanjut.

3) Uji Coba Terbatas Model

Setelah validasi ahli selesai dan revisi dilakukan, tahap selanjutnya adalah uji coba model pembelajaran NEXUS ke- i ($i \geq 1$), yang dilakukan pada sekelompok mahasiswa untuk mengamati implementasi model dalam situasi pembelajaran yang sesungguhnya. Uji coba ini bertujuan untuk mengidentifikasi apakah mahasiswa dapat mengikuti model pembelajaran dengan baik, mengukur efektivitas model dalam mengembangkan CTS, keterampilan kolaboratif, serta mengelola beban kognitif mahasiswa, dan menganalisis faktor-faktor yang mungkin menghambat implementasi model. Hasil uji coba digunakan sebagai dasar untuk memperbaiki model dan menyusun Draft III, yang lebih matang dan siap untuk diuji lebih lanjut.

Desain eksperimen pada uji coba terbatas menggunakan *The One-Shot Case Study Design* (Fraenkel et al., 2012), di mana model pembelajaran diterapkan (X) dan respon mahasiswa setelah penerapan model diamati (O).



Gambar 3.11. Desain Penelitian untuk Uji Coba Terbatas

Keterangan:

X = Penerapan model

O = Respon mahasiswa setelah penerapan model

Pada tahap ini, prototipe model diuji coba kepada beberapa mahasiswa untuk menilai kepraktisan model yang dikembangkan. Wawancara dengan mahasiswa dilakukan untuk mendapatkan masukan terkait keefektifan dan aspek-aspek yang masih perlu diperbaiki. Hasil uji coba terbatas menjadi dasar untuk

melakukan revisi guna menyempurnakan model sebelum diterapkan dalam skala yang lebih luas. Selain itu, dilakukan analisis deskriptif untuk menentukan apakah model layak digunakan pada tahap implementasi berikutnya.

Uji coba terbatas dilakukan pada 20 mahasiswa UIN Raden Intan Lampung pada bulan Februari 2024. Respon mahasiswa dan dosen terhadap model pembelajaran diukur menggunakan *checklist* untuk mengetahui kepraktisan prototipe model yang dikembangkan. Penilaian kepraktisan ini mengacu pada kriteria menurut Riduwan (2013), dengan kategori sebagai berikut:

Table 3.8. Kategori Penilaian Kepraktisan Model

Presentase Skor	Kategori
$0 \leq Ps < 21$	Tidak Baik
$21 \leq Ps < 41$	Kurang Baik
$41 \leq Ps < 61$	Cukup Baik
$61 \leq Ps < 81$	Baik
$81 \leq Ps < 100$	Sangat Baik

$$Ps(\%) = \frac{\text{Jumlah skor hasil pengumpulan data}}{\text{skor kriteria}} \times 100\%$$

Keterangan:

Ps = Presentase sub variabel

Kriteria = skor tertinggi x jumlah aspek x jumlah responden

4) Validasi Hasil Uji Coba Terbatas

Setelah Draft III disusun berdasarkan hasil uji coba terbatas, dilakukan evaluasi ulang oleh validator untuk menilai apakah model yang telah diuji coba memenuhi standar validitas dan siap untuk diterapkan dalam skala yang lebih luas. Evaluasi ini mencakup peninjauan kembali terhadap efektivitas model pembelajaran NEXUS, dengan mempertimbangkan hasil uji coba sebelumnya serta masukan dari mahasiswa dan dosen. Validator mengevaluasi aspek kepraktisan, efektivitas, dan kesesuaian model dengan teori yang mendasarinya.

Jika masih ditemukan kekurangan dalam model atau perangkat pembelajaran, dilakukan revisi lebih lanjut untuk menyempurnakan model sebelum

melanjutkan ke tahap berikutnya. Proses revisi ini bersifat iteratif hingga model dinyatakan valid, praktis, dan efektif sesuai dengan tujuan pembelajaran yang telah dirancang. Setelah model dinyatakan valid, maka memasuki Tahap III (Evaluasi dan Implementasi Model Pembelajaran), di mana model diuji dalam lingkungan pembelajaran yang lebih luas untuk mengukur dampak dan keberlanjutannya dalam praktik pendidikan.

4. Implementasi Model dan Uji Coba (Model Implementation and Test)

Pada tahap III, yaitu Evaluasi dan Implementasi Model Pembelajaran yang diadaptasi dari desain Instruksional oleh Dick et al. (2015) dan tahapan serta aktivitas Penelitian Pengembangan Sunyono dan Ibrahim (2014), beririsan dengan tahapan ke empat dari desain evaluasi metode campuran (*Mixed Methods Evaluation Design*) Adaptasi dari Creswell dan Creswell (2023). Pada tahap ini, setelah revisi dilakukan berdasarkan masukan dari dosen, mahasiswa, dan validator, model pembelajaran yang telah melalui uji coba terbatas diuji dalam skala lebih luas. Pengujian skala luas dilakukan pada kelas eksperimen dan kelas kontrol untuk membandingkan hasil implementasi Model NEXUS dengan model pembelajaran ekspositori. Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan apakah model pembelajaran yang dikembangkan sudah sesuai dengan spesifikasi yang dituju serta efektif dalam meningkatkan CTS, keterampilan kolaboratif, dan pengelolaan beban kognitif mahasiswa.

Analisis dalam tahap ini mencakup pengukuran keterlaksanaan sintaks model pembelajaran, analisis dampak perlakuan terhadap CTS, serta pengaruh model terhadap beban kognitif dan keterampilan kolaboratif mahasiswa. Pengujian efektivitas dilakukan menggunakan analisis varians dua jalur (ANAVA 2-Way) dengan bantuan perangkat lunak SPSS 27, untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Jika hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka model dapat dilanjutkan ke tahap finalisasi. Namun, jika hasilnya belum maksimal, dilakukan refleksi kembali dan perbaikan hingga model mencapai tingkat efektivitas yang optimal.

Selain pengujian kuantitatif, dilakukan juga analisis deskriptif untuk menilai kepraktisan model pembelajaran yang dikembangkan. Evaluasi ini menggunakan checklist untuk mengukur keterlaksanaan sintaks model pembelajaran berdasarkan kriteria yang diadaptasi dari Riduwan (2015). Jika model dinilai efektif dan praktis, maka ditetapkan sebagai Model Final, siap untuk diimplementasikan secara luas dalam pembelajaran. Namun, jika model masih memiliki kelemahan, dilakukan revisi kembali hingga model mencapai tingkat kesempurnaan yang diharapkan. Analisis keterlaksanaan sintaks model pembelajaran berbentuk checklist dengan kriteria menurut Riduwan (2015) yaitu:

Table 3.9. Kategori Penilaian Keterlaksanaan Sintaks

Presentase Skor	Kategori
$0 \leq \bar{X} < 1$	Tidak Efektif
$1 \leq \bar{X} < 2$	Kurang Efektif
$2 \leq \bar{X} < 3$	Efektif
$3 < \bar{X} \leq 4$	Sangat Efektif

Keterangan :

$\bar{X}$ = Rerata skor penilaian keterlaksanaan sintaks

Kemudian untuk analisis pengukuran sistem sosial, prinsip reaksi, dan respon mahasiswa terhadap pelaksanaan perkuliahan menggunakan instrumen angket (dengan skala likert) oleh dosen pendamping berupa checklist dengan kriteria menurut Riduwan (2015) yaitu:

Table 3.10. Kategori Penilaian Sistem Sosial, Prinsip Reaksi, dan Respon Mahasiswa

Presentase Skor	Kategori
$0 \leq \bar{X} < 1$	Tidak Baik
$1 \leq \bar{X} < 2$	Kurang Baik
$2 \leq \bar{X} < 3$	Baik
$3 < \bar{X} \leq 4$	Sangat Baik

Keterangan :

$\bar{X}$ = Rerata skor penilaian sistem sosial, prinsip reaksi, dan Respon Mahasiswa

a. Jenis Penelitian Uji Coba Skala Luas

Pada uji coba skala luas juga dilakukan analisis menggunakan Anava 2 jalan untuk melihat apakah model pembelajaran produk pengembangan efektif mengoptimalkan CTS. Uji coba skala skala luas dilakukan di UIN Raden Intan Lampung pada Program Studi Pendidikan Biologi, Biologi (Sains), dan Program Studi Sistem Informasi, masing-masing sebanyak 2 kelas, yang terbagi kepada kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Perlakuan pada tahap ini termasuk jenis penelitian kuantitatif yaitu penelitian eksperimen semu (*quasy experimental design*), dimana pada kelas eksperimen menggunakan model hasil pengembangan dan diberikan pretest sebelum menggunakan produk kemudian diberikan posttest setelah menggunakan produk untuk melihat dampak yang terjadi setelah pembelajaran menggunakan produk hasil pengembangan. Berikut rancangan perlakuan pada tahap uji coba skala luas.

Table 3.11. Desain *pretest-posttest control group design*

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O ₁	X	O ₂
Kontrol	O ₃	-	O ₄

Keterangan:

- O₁ : Kelas eksperimen sebelum implementasi model pembelajaran NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan flipped classroom
- O₂ : Kelas eksperimen setelah implementasi model pembelajaran NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan flipped classroom
- O₃ : Kelas kontrol sebelum pembelajaran fisika dengan model ekspositori
- O₄ : Kelas kontrol setelah pembelajaran fisika dengan metode ekspositori
- X : Penerapan perkuliahan fisika dasar dengan model pembelajaran NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan flipped classroom

b. Populasi, sampel, dan teknik sampling Uji Coba Skala Luas

Populasi penelitian adalah mahasiswa yang mengambil Mata Kuliah Fisika Dasar di UIN Raden Intan Lampung pada tahun akademik 2024/2025 semester Ganjil. Sampel uji coba luas terdiri dari dua kelas (untuk setiap prodi), yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Teknik pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *cluster random sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel dengan kluster-kluster yang ada dianggap homogen sehingga untuk kluster yang dipilih, maka semua anggota kluster mempunyai peluang sama untuk dipilih sebagai sampel.

c. Desain Faktorial Penelitian Uji Coba Skala Luas

Desain faktorial yang digunakan pada penelitian ini adalah $2 \times 2 \times 2$.

Table 3.12. Desain Faktorial Uji Coba Luas

Keterampilan Kolaborasi (<i>B</i>)		Tinggi (<i>b</i> ₁)		Rendah (<i>b</i> ₂)	
Model Pembelajaran (<i>A</i>)	Beban kognitif (<i>C</i>)	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah
		(<i>c</i> ₁)	(<i>c</i> ₂)	(<i>c</i> ₁)	(<i>c</i> ₂)
Model pembelajaran <i>NEXUS</i> (<i>a</i> ₁)		<i>abc</i> ₁₁₁	<i>abc</i> ₁₁₂	<i>abc</i> ₁₂₁	<i>abc</i> ₁₂₂
Ekspositori (<i>a</i> ₂)		<i>abc</i> ₂₁₁	<i>abc</i> ₂₁₂	<i>abc</i> ₂₂₁	<i>abc</i> ₂₂₂

Keterangan:

- abc₁₁₁ : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran NEXUS dan memiliki keterampilan kolaborasi tinggi serta beban kognitif tinggi
- abc₁₁₂ : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran NEXUS dan memiliki keterampilan kolaborasi tinggi serta beban kognitif rendah

- abc_{121} : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran NEXUS dan memiliki keterampilan kolaborasi rendah serta beban kognitif tinggi
- abc_{122} : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran NEXUS dan memiliki keterampilan kolaborasi rendah serta beban kognitif rendah
- abc_{211} : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran ekspositori dan memiliki keterampilan kolaborasi tinggi serta beban kognitif tinggi
- abc_{212} : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran ekspositori dan memiliki keterampilan kolaborasi tinggi serta beban kognitif rendah
- abc_{221} : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran ekspositori dan memiliki keterampilan kolaborasi rendah serta beban kognitif tinggi
- abc_{222} : Data skor mahasiswa yang diberi model pembelajaran ekspositori dan memiliki keterampilan kolaborasi rendah serta beban kognitif rendah

d. Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel

Pada tahap uji coba luas ini, penelitian menggunakan sejumlah variabel yang telah didefinisikan secara konseptual dan operasional untuk memastikan kejelasan dalam pengukuran serta validitas analisis hasil penelitian. Pengendalian terhadap variabel-variabel tertentu dilakukan agar interpretasi hubungan antar variabel lebih akurat dan dapat menjawab tujuan penelitian secara komprehensif.

1) Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga kategori utama:

a) Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah model pembelajaran, yang terdiri dari:

- Model NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan *flipped classroom*, yang menekankan pengelolaan beban kognitif melalui kolaborasi serta pembelajaran berbasis proyek dan pemecahan masalah untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasional.
- Model pembelajaran ekspositori, yang digunakan sebagai kelompok kontrol untuk membandingkan efektivitas model NEXUS dalam meningkatkan CTS mahasiswa.

b) Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah CTS mahasiswa, yang mencerminkan kemampuan berpikir komputasional dalam menyelesaikan masalah secara sistematis melalui pendekatan yang berbasis logika, algoritma, dekomposisi, dan abstraksi.

c) Variabel Kontrol (*Controlled Variables*)

Variabel kontrol merupakan faktor yang dikendalikan agar tidak memberikan pengaruh yang dapat mengganggu hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Dalam penelitian ini, variabel kontrol meliputi:

- Keterampilan Kolaborasi, yang mencerminkan sejauh mana mahasiswa dapat bekerja sama dalam kelompok dalam menyelesaikan tugas berbasis proyek.
- Beban Kognitif, yang mencakup aspek *intrinsic load* (kerumitan materi), *extraneous load* (beban pemrosesan yang tidak relevan), dan *germane load* (upaya membangun pemahaman konseptual).

2) Variabel Konseptual

Setiap variabel dalam penelitian ini memiliki landasan konseptual yang mendasari penggunaannya, sebagai berikut:

a) Model Pembelajaran

Model pembelajaran merupakan strategi yang diterapkan dalam proses belajar mengajar untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu. Dalam penelitian ini,

Model NEXUS berbasis CCLT dan *flipped classroom* digunakan untuk mengoptimalkan CTS mahasiswa dengan mengurangi beban kognitif melalui strategi segmentasi materi, *scaffolding*, diskusi berbasis kelompok, dan pemecahan masalah kolaboratif. Model ini dibandingkan dengan model pembelajaran ekspositori yang lebih bersifat *teacher-centered*, dengan pendekatan yang berfokus pada penyampaian materi secara langsung tanpa interaksi kolaboratif yang mendalam.

b) *Computational Thinking Skills* (CTS)

CTS merupakan keterampilan berpikir yang memungkinkan seseorang untuk memahami, menganalisis, dan menyelesaikan masalah secara sistematis dengan pendekatan berbasis komputasi. Menurut Wing (2006), CTS mencakup tiga dimensi utama, yaitu Konsep Komputasional, Praktik Komputasional, dan Perspektif Komputasional.

c) Keterampilan Kolaborasi

Keterampilan kolaborasi mengacu pada kemampuan individu dalam bekerja sama dengan orang lain untuk mencapai tujuan bersama. Dalam penelitian ini, keterampilan kolaborasi mencakup komunikasi dalam tim, koordinasi tugas, pengambilan keputusan kolektif, serta kontribusi terhadap penyelesaian proyek.

d) Beban Kognitif

Beban kognitif merupakan jumlah sumber daya mental yang diperlukan untuk memproses informasi selama proses pembelajaran. Menurut Sweller (2011), beban kognitif terdiri dari *intrinsic cognitive load* (kesulitan materi yang dipelajari), *extraneous cognitive load* (beban tambahan akibat penyampaian informasi yang kurang efektif), dan *germane cognitive load* (beban yang berkaitan dengan pemahaman konseptual dan transfer pengetahuan).

e) Validitas Isi Model Pembelajaran

Validitas isi mengacu pada sejauh mana komponen-komponen dalam model pembelajaran sesuai dengan tujuan dan indikator penelitian. Dalam penelitian ini, validitas isi Model NEXUS diuji dengan melibatkan validator ahli untuk menilai kesesuaian antara sintaks pembelajaran, strategi pembelajaran, dan evaluasi terhadap keterampilan CTS mahasiswa.

f) Validitas Konstruk Model Pembelajaran

Validitas konstruk berkaitan dengan kesesuaian struktur dan teori yang mendasari model pembelajaran. Model NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan *flipped classroom* harus mencerminkan prinsip-prinsip pengurangan beban kognitif melalui *scaffolding*, segmentasi, dan pemecahan masalah kolaboratif, sehingga konstruksinya selaras dengan teori yang mendasarinya. Validitas konstruk diuji menggunakan uji Aiken's V dan analisis faktor untuk memastikan bahwa model memiliki fondasi konseptual yang kuat.

g) Efektivitas Model Pembelajaran

Efektivitas model pembelajaran mengacu pada sejauh mana Model NEXUS dapat meningkatkan CTS mahasiswa dibandingkan dengan model ekspositori. Evaluasi efektivitas dilakukan melalui analisis statistik inferensial menggunakan uji ANAVA 2 jalur (Two-Way ANOVA) dengan SPSS 27, yang membandingkan peningkatan CTS antara kelompok eksperimen dan kontrol.

h) Kepraktisan Model Pembelajaran

Kepraktisan model pembelajaran secara konseptual mengacu pada kemudahan implementasi model dalam lingkungan pembelajaran nyata, termasuk tingkat keterlaksanaan sintaks model oleh dosen dan sejauh mana mahasiswa dapat mengikuti serta menerima model tersebut dengan baik. Kepraktisan ini menunjukkan sejauh mana model pembelajaran dapat diterapkan tanpa mengalami hambatan teknis maupun pedagogis, sekaligus mencerminkan kesesuaian model dengan karakteristik mahasiswa, strategi pengajaran, dan kondisi kelas.

Kepraktisan model yang tinggi menunjukkan bahwa model tidak hanya sesuai secara teoritis tetapi juga mudah diterapkan, memberikan manfaat bagi mahasiswa, serta mendukung pencapaian tujuan pembelajaran secara optimal.

3) Definisi Operasional Variabel

Untuk memastikan bahwa setiap variabel dapat diukur secara kuantitatif dan dapat dianalisis secara objektif, berikut adalah definisi operasional dari masing-masing variabel:

a) Model Pembelajaran

Implementasi model NEXUS berbasis CCLT dan *flipped classroom* diukur melalui observasi keterlaksanaan sintaks model pembelajaran dan penilaian terhadap partisipasi mahasiswa dalam kegiatan pembelajaran berbasis kolaborasi.

b) *Computational Thinking Skills* (CTS)

CTS mahasiswa diukur melalui instrumen asesmen berbasis tugas, yang mengevaluasi abstraksi, dekomposisi, pengenalan pola, dan algoritma, dengan skor berbasis rubrik penilaian CTS.

c) Validitas Isi dan Konstruksi Model

Validitas isi diuji menggunakan uji Aiken's V, sedangkan validitas konstruk diuji menggunakan analisis faktor eksploratori (EFA) dan konfirmatori (CFA).

d) Efektivitas Model

Efektivitas model diukur melalui uji ANAVA 2 jalur, yang membandingkan peningkatan CTS antara kelompok eksperimen dan kontrol.

e) Kepraktisan Model

Kepraktisan model pembelajaran diukur melalui dua aspek utama: (1) keterlaksanaan sintaks model pembelajaran, dan (2) sistem sosial, prinsip reaksi, serta respons mahasiswa. Keterlaksanaan sintaks model diukur melalui instrumen observasi berbentuk *checklist*, dengan kategori tidak efektif, kurang efektif, efektif,

dan sangat efektif, berdasarkan rerata skor keterlaksanaan. Sementara itu, sistem sosial, prinsip reaksi, dan respons mahasiswa dinilai menggunakan angket berbasis skala Likert, dengan kategori tidak baik, kurang baik, baik, dan sangat baik. Jika hasil pengukuran menunjukkan kategori baik atau sangat baik, maka model dinyatakan memiliki kepraktisan tinggi dan layak untuk diterapkan dalam pembelajaran secara lebih luas.

e. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada tahapan Implementasi Model dan Uji Coba ini adalah:

- 1) Teknik tes: tes untuk mengetahui CTS mahasiswa.
- 2) Lembar angket: angket keterampilan kolaborasi dan beban kognitif

f. Teknik analisis data

Teknik analisis data yang digunakan adalah teknik statistik dengan analisis varians 2 jalan.

1) Uji prasyarat analisis

Persyaratan yang harus dipenuhi dalam analisis variansi dua jalan antara lain populasinya berdistribusi normal (sifat normalitas populasi) dan populasinya mempunyai variansi yang sama (sifat homogenitas variansi populasi). Oleh karena itu dilakukan dua macam pengujian, yaitu uji normalitas dan homogenitas.

a) Uji Normalitas

Uji Normalitas digunakan untuk mencari data yang diperoleh apakah terdistribusi dengan normal atau tidak normal. Uji normalitas yang digunakan pada penelitian ini yaitu uji SPSS 27 dengan uji Kolmogorov-Smirnov dengan signifikansi di atas 0,05. Uji ini dilakukan pada data pretest kemampuan berpikir kritis.

b) Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan uji untuk kelas eksperimen dari model inkuiri terstruktur, terbimbing, dan terbuka serta meyakinkan ketiga kelompok tersebut

berasal dari varian populasi yang sama. Uji homogenitas yang digunakan pada penelitian ini yaitu uji Levene's pada SPSS 27.

c) Uji Kesamaan Keadaan Awal

Uji ini digunakan untuk menguji ketiga sampel apakah memiliki kemampuan awal rata-rata yang sama atau tidak. Uji kesamaan rata-rata ini menggunakan oneway Anova dengan bantuan SPSS 27. Taraf signifikansi yang digunakan adalah 0,05.

2) Uji Hipotesis

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah anava dua jalan yaitu salah satu teknik statistik inferensial yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif yang jumlahnya lebih dari dua sampel secara serempak dengan setiap faktor terdiri dari dua faktor atau lebih.

- a) Perbedaan pengaruh model pembelajaran NEXUS dan ekspositori terhadap CTS mahasiswa.

H_{0A} : Tidak ada perbedaan pengaruh antara penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori terhadap CTS mahasiswa.

H_{1A} : Ada perbedaan pengaruh antara penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori terhadap CTS mahasiswa.

- b) Perbedaan pengaruh antara keterampilan kolaborasi mahasiswa kategori tinggi dan rendah terhadap CTS mahasiswa.

H_{0B} : Tidak ada perbedaan pengaruh antara keterampilan kolaborasi mahasiswa kategori tinggi dan rendah terhadap CTS mahasiswa.

H_{1B} : Ada perbedaan pengaruh antara keterampilan kolaborasi mahasiswa kategori tinggi dan rendah terhadap CTS mahasiswa.

- c) Perbedaan pengaruh antara beban kognitif mahasiswa kategori tinggi dan rendah terhadap CTS mahasiswa.

H_{0C} : Tidak ada perbedaan pengaruh antara beban kognitif mahasiswa kategori tinggi dan rendah terhadap CTS mahasiswa.

- H_{1C} : Ada perbedaan pengaruh antara beban kognitif mahasiswa kategori tinggi dan rendah terhadap CTS mahasiswa.
- d) Interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori dengan keterampilan kolaborasi mahasiswa.
- H_{0AB} : Tidak ada interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori dengan keterampilan kolaborasi mahasiswa.
- H_{1AB} : Ada interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori dengan keterampilan kolaborasi mahasiswa.
- e) Interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori dengan beban kognitif mahasiswa.
- H_{0AC} : Tidak ada interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori dengan beban kognitif mahasiswa.
- H_{1AC} : Ada interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori dengan beban kognitif mahasiswa.
- f) Interaksi antara keterampilan kolaborasi dengan beban kognitif mahasiswa.
- H_{0BC} : Tidak ada interaksi antara keterampilan kolaborasi dengan beban kognitif mahasiswa.
- H_{1BC} : Ada interaksi antara keterampilan kolaborasi dengan beban kognitif mahasiswa.
- g) Interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori, keterampilan kolaborasi serta beban kognitif mahasiswa.
- H_{0ABC} : Tidak ada interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori, keterampilan kolaborasi serta beban kognitif mahasiswa
- H_{1ABC} : Ada interaksi antara pengaruh penggunaan model pembelajaran NEXUS dan ekspositori, keterampilan kolaborasi serta beban kognitif mahasiswa

Uji hipotesis menggunakan Anava dua jalur (berbantuan SPSS 27) memiliki ketentuan H_0 ditolak jika $F_0 \geq F_r$ atau probabilitas $(P) \leq 0,05$. Pedoman untuk menginterpretasi harga F_0 sesuai dengan Tabel 3.13 berikut:

Table 3.13. Taraf Interpretasi F_0

Jika $F_0 \geq F_r$ 1% (0,01)	Jika $F_0 \geq F_r$ 5% (0,05)	Jika $F_0 < F_r$ 5% (0,01)
1. Harga F_0 yang diperoleh sangat signifikan	1. Harga F_0 yang diperoleh sangat signifikan	a) Harga F_0 yang diperoleh tidak signifikan
2. Ada perbedaan rerata secara sangat signifikan	2. Ada perbedaan rerata secara sangat signifikan	b) Tidak ada perbedaan rerata yang signifikan
3. Hipotesis nihil (H_0) ditolak	3. Hipotesis nihil (H_0) ditolak	c) Hipotesis nihil (H_0) diterima
4. $P < 0,01$ atau $P = 0,01$	4. $P < 0,05$ atau $P = 0,05$	d) $P > 0,05$

Uji yang digunakan setelah uji anava dua jalan yaitu uji lanjut dengan uji Tukey. Uji Tukey digunakan untuk membandingkan beberapa kelompok perlakuan setelah dilakukan analisis varian. Taraf signifikansi yang digunakan yaitu $\alpha = 0,05$.

3) Pola CTS yang terbentuk berdasarkan interelasi antara dimensi konsep, dimensi praktik, dan dimensi perspektif

Untuk memahami interelasi antara dimensi konsep, praktik, dan perspektif dalam pengembangan CTS, digunakan pendekatan Multivariate Multiple Regression, yang memungkinkan identifikasi kontribusi dan hubungan antar dimensi tersebut, dengan mempertimbangkan variabel bebas seperti beban kognitif, keterampilan kolaborasi, dan kategori kelas (Eksperimen atau Kontrol).

a) Uji Prasyarat:

Sebelum melakukan analisis, uji prasyarat dilakukan untuk memastikan data memenuhi kriteria normalitas. Uji normalitas ini penting untuk memvalidasi penggunaan uji statistik selanjutnya. Data dari masing-masing dimensi diuji normalitasnya menggunakan metode statistik yang tepat.

b) Uji Regresi Ganda Multivariat (*Multivariate Multiple Regression*)

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Multivariate Multiple Regression* (MMR) untuk menganalisis interelasi tiga variabel bebas terhadap tiga variabel terikat secara simultan dan parsial. Model ini digunakan karena variabel terikat terdiri dari tiga dimensi keterampilan berpikir komputasional mahasiswa, yaitu dimensi konseptual (CTS_DK), dimensi praktikal (CTS_DP), dan dimensi perspektif (CTS_DF), yang secara teoritis saling terkait dan memiliki kemungkinan dipengaruhi oleh kombinasi faktor instruksional dan kognitif.

Ketiga variabel bebas yang digunakan terdiri atas model pembelajaran (X_1), keterampilan kolaborasi (X_2), dan beban kognitif (X_3). Seluruh variabel bebas dikodekan dalam bentuk dummy dengan nilai 1 untuk kondisi eksperimen dan 0 untuk kondisi kontrol. Model pembelajaran dikodekan sebagai 1 untuk NEXUS dan 0 untuk ekspositori. Keterampilan kolaborasi dikodekan sebagai 1 untuk tingkat tinggi dan 0 untuk tingkat rendah. Beban kognitif dikodekan sebagai 1 untuk tingkat tinggi dan 0 untuk tingkat rendah.

Hubungan antara ketiga variabel bebas dengan tiga variabel terikat dianalisis secara simultan untuk menjawab hipotesis sebagai berikut:

1) Hipotesis Model (Uji Multivariat)

Uji multivariat dilakukan untuk mengevaluasi apakah masing-masing variabel bebas—yaitu beban kognitif (X_1), keterampilan kolaborasi (X_2), dan kelas/model pembelajaran (X_3)—dapat digunakan dalam model regresi yang mampu memprediksi ketiga variabel terikat secara simultan, yakni dimensi konsep (CTS_DK), dimensi praktik (CTS_DP), dan dimensi perspektif (CTS_DF) dari keterampilan berpikir komputasional. Pengujian ini dilakukan menggunakan statistik Wilks' Lambda dalam kerangka *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA).

Tujuan pengujian ini bukan untuk mengetahui apakah ketiga variabel bebas secara bersamaan memengaruhi gabungan ketiga dimensi CTS, tetapi untuk menentukan apakah masing-masing variabel bebas memiliki kekuatan prediksi terhadap model regresi multivariat yang dibangun.

Hipotesis Statistik:

H_0 (Hipotesis Wilks' Lambda): Model regresi tidak signifikan dalam memprediksi variabel terikat (CTS_DK, CTS_DP, dan CTS_DF) berdasarkan masing-masing variabel bebas.

H_1 : Model regresi signifikan dalam memprediksi variabel terikat berdasarkan variabel bebas.

Kriteria pengambilan keputusan model regresi terdapat pada tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.14. Pengambilan Keputusan Model regresi

Statistik Uji	Nilai (p-value)	Signifikansi	Keputusan
Wilks' Lambda	$< 0,05$		Tolak $H_0 \rightarrow$ Model regresi dapat memprediksi
Wilks' Lambda	$\geq 0,05$		Gagal tolak $H_0 \rightarrow$ Model regresi tidak dapat memprediksi

2) Hipotesis Kevalidan Setiap Persamaan Regresi

Uji ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh masing-masing variabel bebas secara simultan terhadap masing-masing variabel terikat—yakni dimensi konseptual (CTS_DK), dimensi praktikal (CTS_DP), dan dimensi perspektif (CTS_DF)—dalam rangka menguji validitas setiap model regresi per dimensi CTS. Dengan kata lain, uji ini bertujuan untuk menguji hipotesis berikut:

H_0 (Hipotesis Model Regresi per Dimensi CTS): Tidak terdapat pengaruh yang signifikan secara simultan dari masing-masing variabel bebas (beban kognitif, keterampilan kolaborasi, dan kelas/model pembelajaran) terhadap dimensi CTS tertentu (CTS_DK, CTS_DP, atau CTS_DF).

H_1 : Terdapat pengaruh yang signifikan secara simultan dari variabel bebas terhadap dimensi CTS yang bersangkutan.

Kriteria pengambilan keputusan kevalidan setiap persamaan regresi terdapat pada tabel 3.15 berikut.

Tabel 3.15. Pengambilan Keputusan Kevalidan Persamaan Regresi

Nilai Sig. Model Regresi	Interpretasi
< 0,05	Terdapat pengaruh yang signifikan secara simultan → Tolak H_0
$\geq 0,05$	Tidak terdapat pengaruh yang signifikan secara simultan → Gagal tolak H_0

3) Hipotesis Setiap Koefisien Regresi (Parameter Estimates)

Untuk mengetahui pengaruh spesifik masing-masing variabel bebas terhadap tiap dimensi CTS, dilakukan uji terhadap masing-masing koefisien regresi (B). Setiap pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah nilai B berbeda secara signifikan dari nol.

Hipotesis Statistik untuk Masing-Masing Koefisien B:

$H_0: B = 0 \rightarrow$ Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari X_i terhadap Y.

$H_1: B \neq 0 \rightarrow$ Terdapat pengaruh yang signifikan dari X_i terhadap Y.

Kriteria pengambilan keputusan pengaruh spesifik masing-masing variabel bebas terhadap tiap dimensi CTS terdapat pada tabel 3.16. berikut.

Tabel 3.16. Pengambilan Keputusan pengaruh spesifik masing-masing variabel bebas terhadap tiap dimensi CTS

Koefisien Regresi	Nilai Sig. (p-value)	Interpretasi
B	< 0,05	Pengaruh signifikan → Tolak H_0
B	$\geq 0,05$	Tidak signifikan → Gagal tolak H_0

Pengujian terhadap masing-masing parameter regresi ini dilakukan untuk setiap kombinasi X terhadap Y, yaitu:

Pengaruh X_1 , X_2 , dan X_3 terhadap CTS_DK,

Pengaruh X_1 , X_2 , dan X_3 terhadap CTS_DP,

Pengaruh X_1 , X_2 , dan X_3 terhadap CTS_DF.

Secara matematis, pendekatan MMR dalam penelitian ini dapat dinyatakan dalam tiga sistem persamaan regresi linier berganda sebagai berikut:

$$CTS_DK = B_0DK + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3$$

$$CTS_DP = B_0DP + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3$$

$$CTS_DF = B_0DF + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3$$

Keterangan:

CTS_DK (Dimensi Konsep)	=	Skor dimensi CTS yang mencerminkan keterampilan pada dimensi konsep
CTS_DP (Dimensi Praktik)	=	Skor dimensi CTS yang mencerminkan keterampilan pada dimensi praktis
CTS_DF (Dimensi Perspektif)	=	Skor dimensi CTS yang mencerminkan keterampilan pada dimensi perspektif
X₁ (Model Pembelajaran)	=	Variabel dummy: 1 = NEXUS, 0 = Ekspositori (kontrol).
X₂ (Keterampilan Kolaborasi)	=	Variabel dummy: 1 = Tinggi, 0 = Rendah.
X₃ (Beban Kognitif)	=	Variabel dummy: 1 = Tinggi, 0 = Rendah.
B₀ (Intersep)	=	Nilai konstanta dalam persamaan regresi; rata-rata skor CTS jika seluruh variabel bebas bernilai nol.
B₁ (Koefisien Regresi untuk X ₁)	=	Mengukur perubahan skor CTS jika X ₁ berubah satu unit (beralih dari ekspositori ke NEXUS).
B₂ (Koefisien Regresi untuk X ₂)	=	Mengukur perubahan skor CTS jika X ₂ berubah satu unit (beralih dari kolaborasi rendah ke tinggi).
B₃ (Koefisien Regresi untuk X ₃)	=	Mengukur perubahan skor CTS jika X ₃ berubah satu unit (beralih dari beban kognitif rendah ke tinggi).

5. Tindak lanjut model pembelajaran yang dikembangkan dan Penyempurnaan (*Program Follow-up and Refinement*)

Tahap ini bertujuan untuk melakukan analisis mendalam terhadap implementasi model pembelajaran NEXUS berbasis CCLT dengan pendekatan *flipped classroom* yang telah diujicobakan. Tahap ini kritis untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan tidak hanya sesuai secara teoritis tapi juga efektif dan praktis dalam pengaturan pendidikan nyata. Berikut ini adalah rincian lebih lanjut dari tahap ini:

1) Populasi, Sampel, dan Sampling:

- 1) Populasi: Populasi penelitian ini mencakup seluruh mahasiswa yang terlibat dalam pengujian model pembelajaran yang dikembangkan di UIN Raden Intan Lampung terpilih.
- 2) Sampel: Sampel yang diambil mencakup mahasiswa yang secara aktif terlibat dalam implementasi dan memiliki pengalaman langsung dengan model.
- 3) Sampling: Untuk memilih sampel yang representatif, peneliti menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan kriteria seperti tingkat keterlibatan dalam program, keberagaman pengalaman, dan kesiediaan untuk berpartisipasi.

2) Teknik Pengumpulan Data:

- 1) Wawancara Semi-terstruktur: Instrumen ini dikembangkan dengan mengadaptasi penelitian yang telah dilakukan oleh Williams et al. (2011) dan Shernoff et al. (2020). Wawancara difokuskan pada pengalaman subjektif peserta, termasuk persepsi mereka tentang keefektifan dan kepraktisan model, serta hambatan yang dihadapi.
- 2) Observasi: Instrumen ini dikembangkan dengan mengadaptasi kerangka observasi kelas untuk mengetahui kualitas instruksi oleh Praetorius dan Charalambous (2018). Observasi langsung dilakukan di kelas-kelas tempat model pembelajaran diterapkan. Peneliti mencatat interaksi dosen-mahasiswa, penggunaan materi, dan dinamika kelas.

3) Teknik Analisis Data:

- 1) Analisis Tematik Kualitatif: Data dari wawancara diolah menggunakan analisis tematik untuk mengidentifikasi tema-tema utama. Ini membantu dalam memahami aspek-aspek kunci dari model yang bekerja dengan baik dan yang memerlukan perbaikan.
- 2) Analisis Konten: Untuk data observasi, analisis konten digunakan untuk mengevaluasi cara implementasi model di kelas dan efektivitas materi yang digunakan.

- 3) Triangulasi dan Sintesis Data: Peneliti menggabungkan temuan dari wawancara dan observasi untuk membangun pemahaman holistik tentang efektivitas model. Triangulasi ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi kesenjangan dan memperkuat temuan mereka.
- 4) Pengembangan Rekomendasi: Berdasarkan analisis ini, peneliti merumuskan rekomendasi untuk penyempurnaan model pembelajaran. Ini mencakup saran untuk modifikasi pendekatan pedagogis, materi pembelajaran, dan strategi pengajaran untuk meningkatkan efektivitas model dalam mengoptimalkan *Computational Thinking Skills* (CTS) mahasiswa.

Melalui tahap ini, model pembelajaran yang dikembangkan disempurnakan berdasarkan umpan balik yang diperoleh, sehingga mampu menyediakan pengalaman belajar yang lebih efektif dan menarik bagi mahasiswa, sekaligus memperkuat kapasitas dosen dalam mengimplementasikan model pembelajaran inovatif.

Kedua tahap terakhir ini, dengan kerangka *explanatori sequential design*, menghasilkan data yang saling terintegrasi sehingga memungkinkan pembentukan bukti yang kuat untuk efektivitas model yang telah dikembangkan. Berikut adalah tabel yang mengilustrasikan integrasi data dari tahapan implementasi model dan uji coba yang berupa data kuantitatif dan tahapan tindak lanjut model pembelajaran yang dikembangkan dan penyempurnaan yang berupa data kualitatif.

C. Relasi Instrumen, Teknik Pengumpulan Data, dan Analisis dalam Menjawab Rumusan Penelitian

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan dan analisis data pada setiap tahapan *Mixed Methods Evaluation Design* dirancang untuk menjawab setiap rumusan penelitian secara sistematis dan komprehensif. Setiap pertanyaan penelitian memiliki instrumen, metode pengumpulan data, serta teknik analisis data yang disesuaikan dengan pendekatan *Mixed Methods Evaluation Design*. Untuk memahami karakteristik model pembelajaran yang dikembangkan, digunakan

teknik wawancara, observasi kelas, serta analisis dokumen yang dikombinasikan dengan validasi ahli untuk memastikan bahwa model telah sesuai dengan teori yang mendasarinya. Validitas isi dan konstruk model dinilai menggunakan indeks Aiken's V melalui lembar validasi ahli, sedangkan kepraktisan model diukur berdasarkan keterlaksanaan sintaks pembelajaran, sistem sosial, dan prinsip reaksi mahasiswa dalam pembelajaran. Efektivitas model pembelajaran diuji melalui analisis varians dua jalur (ANAVA 2-Way) dengan membandingkan peningkatan CTS sebelum dan sesudah penerapan model, serta interaksinya dengan keterampilan kolaborasi dan beban kognitif mahasiswa. Selain itu, pola CTS yang terbentuk dianalisis menggunakan regresi multivariat untuk memahami hubungan antar dimensi konsep, praktik, dan perspektif. Tabel berikut menunjukkan hubungan antara rumusan penelitian, instrumen yang digunakan, teknik pengumpulan data, serta teknik analisis yang diterapkan dalam penelitian ini.

Table 3.14. Relasi Instrumen, Teknik Pengumpulan Data, dan Analisis dalam Menjawab Rumusan Penelitian

Rumusan Penelitian	Instrumen	Teknik Pengumpulan Data	Teknik Analisis Data
Bagaimana karakteristik dari model pembelajaran yang dikembangkan dalam mengoptimalkan CTS mahasiswa?	Wawancara dengan dosen dan mahasiswa, observasi kelas, analisis dokumen (RPS, bahan ajar), kajian literatur dan teori	Analisis tematik dari wawancara, observasi kelas, dan dokumen perkuliahan; kajian literatur menggunakan metode PRISMA untuk meninjau teori yang relevan dengan model pembelajaran berbasis CCLT dan <i>flipped classroom</i>	Analisis tematik kualitatif untuk mengidentifikasi pola pembelajaran dan karakteristik model; sintesis literatur untuk membangun landasan teoritis model
Bagaimana tingkat validitas isi dan konstruk model pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan penilaian validator?	Lembar validasi ahli, skala penilaian Aiken's V	Validasi ahli menggunakan indeks Aiken's V untuk menilai kesesuaian isi dan konstruk model dengan teori pembelajaran CCLT	Analisis indeks Aiken's V untuk mengukur validitas isi dan konstruk model

Rumusan Penelitian	Instrumen	Teknik Pengumpulan Data	Teknik Analisis Data
		dan <i>flipped classroom</i>	
Bagaimana kepraktisan model pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan tingkat keterlaksanaan sintaks, sistem sosial, dan prinsip reaksi dalam pelaksanaan pembelajaran?	Observasi keterlaksanaan sintaks model, angket sistem sosial dan prinsip reaksi berbasis skala Likert	Observasi kelas untuk menilai keterlaksanaan sintaks model dalam pembelajaran; Angket skala Likert untuk mengukur sistem sosial dan prinsip reaksi mahasiswa terhadap implementasi model	Analisis deskriptif kuantitatif dengan rerata dan kategorisasi keterlaksanaan model serta respons mahasiswa
Bagaimana efektivitas dari model pembelajaran yang dikembangkan, berdasarkan hasil tes CTS yang ditinjau dari keterampilan kolaborasi dan beban kognitifnya?	Tes CTS mahasiswa, angket keterampilan kolaborasi, angket beban kognitif	Pretest dan posttest untuk mengukur CTS sebelum dan sesudah pembelajaran; Angket skala Likert untuk mengukur beban kognitif dan keterampilan kolaborasi mahasiswa	Analisis varians dua jalur (ANAVA 2-Way) dengan SPSS untuk membandingkan peningkatan CTS berdasarkan model pembelajaran serta interaksi dengan variabel keterampilan kolaborasi dan beban kognitif
Bagaimana pola CTS yang terbentuk berdasarkan interelasi antara dimensi konsep, dimensi praktik, dan dimensi perspektif?	Tes CTS berbasis dimensi konsep, praktik, dan perspektif; Wawancara reflektif; Analisis hasil asesmen	Analisis respons tes CTS berbasis rubrik; Uji korelasi antar dimensi CTS; Wawancara reflektif untuk mengeksplorasi keterkaitan dimensi konsep, praktik, dan perspektif	Analisis regresi multivariat (Multivariate Multiple Regression) dengan SPSS untuk mengidentifikasi hubungan antara dimensi konsep, praktik, dan perspektif dalam pola CTS mahasiswa

Tabel 3.15 mengintegrasikan berbagai teknik pengumpulan data dengan pendekatan analisis yang tepat untuk menjawab setiap rumusan penelitian secara holistik. Teknik kualitatif seperti analisis tematik digunakan untuk menggali karakteristik model pembelajaran berdasarkan wawancara, observasi, dan analisis dokumen. Validasi ahli dengan indeks Aiken's V digunakan untuk memastikan validitas isi dan konstruk model pembelajaran sebelum diimplementasikan dalam

uji coba. Untuk menilai kepraktisan model, digunakan observasi keterlaksanaan sintaks serta angket berbasis skala Likert untuk mengukur sistem sosial dan prinsip reaksi mahasiswa. Efektivitas model diuji melalui analisis varians dua jalur (ANAVA 2-Way) guna mengukur peningkatan CTS yang dipengaruhi oleh keterampilan kolaborasi dan beban kognitif. Pola CTS yang terbentuk dianalisis menggunakan regresi multivariat untuk melihat keterkaitan antara dimensi konsep, praktik, dan perspektif dalam berpikir komputasional mahasiswa. Dengan pendekatan ini, penelitian ini dapat memberikan bukti empiris yang kuat mengenai bagaimana model pembelajaran NEXUS berbasis CCLT dan *flipped classroom* dapat meningkatkan CTS secara optimal.

V. SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan, implementasi, serta analisis data kuantitatif dan kualitatif yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik Model Pembelajaran NEXUS dalam Mengoptimalkan *Computational Thinking Skills* (CTS) Mahasiswa Model pembelajaran NEXUS dikembangkan dengan sintaks *Navigate the Cognitive Prelude*, *Engage in Learning Dynamics*, *Xcel through Collaborative Endeavors*, *Understand and Synthesize*, dan *Step into Learning Progression*. Model ini memiliki lima karakteristik utama yaitu metakognitif, kolaboratif, adaptif, teknopedagogis, dan reflektif. Karakteristik tersebut saling memperkuat dan secara khusus dirancang untuk menjawab tantangan beban kognitif tinggi dan mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi mahasiswa, terutama CTS.
2. Kelayakan Model Pembelajaran NEXUS dalam Mengoptimalkan CTS Mahasiswa Kelayakan model pembelajaran NEXUS dievaluasi berdasarkan tiga aspek berikut:
 - a. Tingkat Validitas Isi dan Konstruk Model Hasil analisis validasi isi dan konstruk oleh lima pakar pendidikan sains dan teknologi menunjukkan bahwa seluruh indikator model memiliki nilai Aiken's V di atas 0.85, yang menandakan validitas yang tinggi. Selain itu, hasil $\sum(s-1)$ menunjukkan kontribusi substansial dari setiap indikator terhadap karakteristik model, mencerminkan konsistensi logis antara elemen model dengan tujuan pengembangannya.
 - b. Kepraktisan Model Pembelajaran Tingkat kepraktisan model sangat tinggi berdasarkan penilaian dari dosen dan mahasiswa. Lebih dari 90% responden menyatakan bahwa perangkat pembelajaran (RPS, LKPD, instrumen CTS, dan rubrik kolaborasi) mudah dipahami, fleksibel

digunakan, dan mendukung proses pembelajaran aktif. Rata-rata skor kepraktisan berada pada rentang 4.30–4.65 dari skala 5, yang mengindikasikan tingkat kepraktisan sangat baik.

- c. Efektivitas Model Pembelajaran Model Pembelajaran NEXUS terbukti efektif secara signifikan dalam meningkatkan CTS mahasiswa dengan rincian bahwa yang pertama hasil analisis ANOVA menunjukkan dampak signifikan model NEXUS terhadap CTS ($F = 253.818$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.920$), jauh melebihi model ekspositori. Kedua, uji lanjut menunjukkan kelompok dengan pembelajaran NEXUS, kolaborasi tinggi, dan beban kognitif rendah memperoleh skor CTS tertinggi (Mean = 86.40; SD = 4.12), menunjukkan sinergi optimal antar variabel. Ketiga, efektivitas peningkatan CTS juga ditentukan oleh interaksi kompleks antara model pembelajaran, keterampilan kolaborasi, dan pengelolaan beban kognitif. Keempat, keterampilan kolaborasi secara independen tidak signifikan terhadap CTS namun memberikan pengaruh positif signifikan dalam interaksi dengan model pembelajaran ($p = 0.027$) dan beban kognitif ($p = 0.005$). Serta yang Kelima, interaksi simultan ketiga variabel (model pembelajaran, keterampilan kolaborasi, dan beban kognitif) secara signifikan mempengaruhi CTS ($p = 0.021$), menegaskan perlunya pendekatan adaptif dan integratif dalam pembelajaran.
3. Pola Keterampilan Berpikir Komputasional (CTS) Berdasarkan Interelasi Antara Dimensi Konsep, Praktik, dan Perspektif Analisis regresi linier berganda multivariat mengungkap pola interelasi yang jelas antara dimensi konseptual, praktikal, dan perspektif CTS dengan variabel model pembelajaran, keterampilan kolaborasi, dan beban kognitif, yaitu Pertama, beban kognitif menunjukkan pengaruh positif signifikan terhadap dimensi perspektif ($B = 0.101$; $p = 0.002$) namun tidak signifikan terhadap dimensi konsep ($B = 0.049$; $p = 0.128$) dan dimensi praktik ($B = 0.043$; $p = 0.177$). Kedua, keterampilan kolaborasi memberikan pengaruh negatif signifikan pada dimensi perspektif ($B = -0.075$; $p = 0.018$), tetapi tidak signifikan terhadap dimensi konsep ($B = 0.036$; $p = 0.260$) maupun dimensi praktik (B

= 0.037; $p = 0.238$). Ketiga, model pembelajaran NEXUS menunjukkan dampak signifikan positif pada ketiga dimensi CTS dengan koefisien regresi masing-masing $B = 45.22$ ($p < 0.001$) untuk dimensi konsep, $B = 36.01$ ($p < 0.001$) untuk dimensi praktik, dan $B = 39.99$ ($p < 0.001$) untuk dimensi perspektif. Sebaliknya, kelas kontrol yang menerapkan pendekatan ekspositori mencatat kontribusi yang lebih rendah secara signifikan, khususnya pada dimensi perspektif ($B = 13.60$). Serta yang keempat, ketiga model regresi untuk masing-masing dimensi CTS memiliki signifikansi simultan yang tinggi dengan nilai F masing-masing sebesar 72.271 untuk dimensi konseptual, 61.754 untuk dimensi praktikal, dan 62.150 untuk dimensi perspektif ($p < 0.001$ untuk ketiganya). Koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0.799 (konseptual), 0.773 (praktikal), dan 0.774 (perspektif), yang menandakan bahwa lebih dari 77% variasi pada setiap dimensi CTS dijelaskan secara simultan oleh ketiga variabel prediktor.

Dengan demikian, model pembelajaran NEXUS terbukti valid, praktis, dan efektif untuk digunakan dalam perkuliahan Fisika Dasar di perguruan tinggi, khususnya dalam konteks pengembangan keterampilan *Computational Thinking* yang terstruktur, kolaboratif, dan rendah beban kognitif.

B. Implikasi

Berdasarkan hasil penelitian disertasi ini, terdapat beberapa implikasi penting:

1. Implikasi Teoretis
 - a. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memperkuat dasar teoritis integrasi antara flipped classroom dan Collaborative Cognitive Load Theory (CCLT) dalam konteks pengembangan computational thinking skills (CTS). Hasil temuan menunjukkan bahwa CTS mahasiswa dapat ditingkatkan secara signifikan melalui desain pembelajaran yang tidak hanya mempertimbangkan aspek instruksional, tetapi juga struktur beban kognitif dan dukungan sosial dalam lingkungan belajar kolaboratif.

- b. Secara khusus, hasil regresi multivariat mengungkapkan bahwa dimensi-dimensi CTS (konsep, praktik, dan perspektif) menunjukkan sensitivitas berbeda terhadap beban kognitif dan keterampilan kolaborasi. Beban kognitif berkontribusi positif terhadap dimensi perspektif, sedangkan kolaborasi justru menurunkan aspek reflektif tersebut jika tidak dikelola dengan baik. Temuan ini memperkaya teori tentang peran variabel kontekstual dalam pengembangan CTS dan menegaskan bahwa pembelajaran efektif perlu mempertimbangkan dinamika kompleks antar dimensi berpikir.
 - c. Model NEXUS berhasil mengonstruksi kerangka pembelajaran berbasis teori CCLT yang secara nyata mendukung pengurangan beban kognitif dan peningkatan kualitas interaksi sosial belajar. Hal ini memberikan landasan empiris baru bagi pengembangan teori pembelajaran berbasis kolaborasi kognitif dengan struktur sintaks yang terukur dan sistematis, memperluas validitas teoritis CCLT dalam konteks pembelajaran sains di pendidikan tinggi.
2. Implikasi Praktis
- a. Model NEXUS secara praktis menjawab kebutuhan lapangan akan model pembelajaran yang mampu mengoptimalkan pengalaman belajar mahasiswa secara aktif, mandiri, dan kolaboratif. Dosen kini memiliki sintaks pembelajaran yang terbukti secara empiris efektif dalam mendorong mahasiswa untuk menguasai konsep, mengembangkan keterampilan praktik, dan membentuk cara pandang reflektif terhadap materi.
 - b. Dalam konteks implementasi di kelas, lima karakteristik utama model NEXUS—metakognitif, kolaboratif, adaptif, teknopedagogis, dan reflektif—dapat diadaptasi oleh dosen dalam menyusun RPS, merancang tugas berbasis proyek, serta menyusun evaluasi formatif yang lebih kontekstual.
 - c. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa efektivitas model tidak hanya tergantung pada model itu sendiri, tetapi juga pada kombinasi dengan kolaborasi tinggi dan pengelolaan beban kognitif rendah. Oleh karena itu,

dosen perlu membangun ekosistem kelas yang mengelola kompleksitas tugas dan interaksi sosial dengan cermat. Model ini menuntut peran aktif dosen dalam memfasilitasi dinamika belajar, bukan sekadar sebagai penyampai informasi.

- d. LMS berperan penting dalam implementasi model ini. Integrasi LMS dengan fitur leaderboard, simulasi, forum diskusi, dan asesmen formatif menjadi bagian krusial dari strategi pembelajaran. Dengan demikian, praktisi pendidikan harus memahami bahwa teknologi bukan sekadar media, tetapi juga *pedagogical tool* yang mendukung desain instruksional berbasis teori.
3. Implikasi Kebijakan
- a. Penemuan bahwa model NEXUS secara signifikan meningkatkan CTS mahasiswa seharusnya mendorong institusi perguruan tinggi, khususnya program studi pendidikan, untuk mulai merancang kebijakan pembelajaran yang berbasis pada integrasi teori-teori modern dan teknologi pendidikan. Model ini dapat dijadikan dasar dalam penyusunan standar kompetensi pembelajaran berbasis higher-order thinking skills.
 - b. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa efektivitas pembelajaran tidak hanya bergantung pada materi ajar, melainkan juga pada desain dan strategi instruksional yang mempertimbangkan instructional load management. Oleh karena itu, institusi perlu menyediakan pelatihan pedagogi inovatif berbasis CCLT dan flipped classroom bagi dosen, serta memastikan infrastruktur digital yang mendukung pengajaran berbasis LMS.
 - c. Temuan ini juga mendorong pengembangan kebijakan asesmen yang lebih menyeluruh. Karena CTS tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga mencakup aspek praktikal dan perspektif berpikir, maka sistem evaluasi harus dirancang untuk mencakup ketiganya secara holistik dan terintegrasi. Kebijakan ini sangat relevan dalam konteks Kurikulum Merdeka Belajar-Kampus Merdeka (MBKM) yang menuntut asesmen berbasis kompetensi.
 - d. Terakhir, meskipun studi ini dilakukan di satu universitas, desain dan temuan penelitian memberikan dasar kebijakan yang dapat direplikasi pada

institusi lain dengan karakteristik serupa. Institusi dapat mengadopsi model ini sebagai pendekatan percontohan untuk reformasi kurikulum pada mata kuliah sains dasar dan memperluasnya ke disiplin lain, baik di bidang STEM maupun non-STEM.

C. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, kesimpulan, dan implikasi yang telah dibahas, berikut adalah saran yang dapat diberikan untuk berbagai pihak yang relevan:

1. Saran Teoretis

- a. Peneliti selanjutnya disarankan untuk memperluas pengujian model NEXUS dengan pendekatan eksperimental di berbagai konteks mata kuliah selain Fisika Dasar, guna memperkuat generalisasi kontribusi teoretis dari flipped classroom dan CCLT terhadap pengembangan CTS.
- b. Perlu dilakukan kajian longitudinal untuk melihat perkembangan CTS mahasiswa dalam jangka waktu lebih panjang, sehingga kontribusi teoritis dari struktur dan sintaks NEXUS terhadap dimensi konseptual, praktikal, dan perspektif CTS dapat dipahami secara dinamis.
- c. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk mengeksplorasi hubungan moderasi dan mediasi antara variabel kolaborasi, beban kognitif, dan hasil belajar lainnya guna mengembangkan model teoritis yang lebih kompleks dan adaptif terhadap berbagai konteks pendidikan tinggi.

2. Saran Praktis

- a. Dosen Fisika Dasar dan pengampu mata kuliah lainnya disarankan untuk mengadopsi pendekatan NEXUS dalam merancang pembelajaran aktif berbasis teknologi dan kolaborasi. Fokus utamanya adalah membangun sintaks pembelajaran yang terstruktur dan mendukung pengembangan CTS melalui tugas berbasis proyek dan diskusi reflektif.
- b. Dalam pelaksanaan pembelajaran, dosen perlu memperhatikan keseimbangan antara tantangan kognitif dan dukungan sosial-emosional mahasiswa, terutama dalam aktivitas kelompok. Kolaborasi

yang tidak terkelola dengan baik dapat menurunkan kualitas refleksi mahasiswa, sebagaimana ditemukan dalam pengaruh negatif keterampilan kolaborasi terhadap dimensi perspektif CTS.

- c. Pengembangan LMS yang selaras dengan kebutuhan model NEXUS juga perlu dilakukan secara berkelanjutan. Praktisi dan tim pengembang teknologi pendidikan disarankan untuk merancang LMS yang mengintegrasikan fitur pelacakan beban kognitif, leaderboard berbasis keterlibatan, dan forum refleksi terbimbing.
- d. Program pelatihan dosen tentang CCLT, flipped classroom, dan penggunaan LMS perlu diselenggarakan secara berkala oleh unit pengembangan pembelajaran agar dosen memiliki kompetensi merancang ekosistem pembelajaran yang efektif, sebagaimana dituntut oleh model ini.

3. Saran Kebijakan

- a. Pihak fakultas dan program studi disarankan untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip NEXUS ke dalam kurikulum dan dokumen Rencana Pembelajaran Semester (RPS), terutama dalam mata kuliah berbasis sains, teknologi, dan pemecahan masalah. Hal ini penting untuk mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 mahasiswa secara terstruktur.
- b. Kebijakan akademik perlu mendukung pembelajaran kolaboratif berbasis proyek dengan skema asesmen yang tidak hanya mengukur aspek kognitif, tetapi juga keterampilan sosial dan kemampuan reflektif mahasiswa. Sistem asesmen perlu disesuaikan agar dapat menilai ketiga dimensi CTS secara adil dan komprehensif.
- c. Institusi pendidikan tinggi disarankan untuk mengembangkan kebijakan internal yang mendukung pelaksanaan pembelajaran flipped classroom dan model CCLT, termasuk insentif untuk dosen yang mengimplementasikan model pembelajaran inovatif berbasis teknologi dan kolaborasi.

- d. Untuk skala yang lebih luas, hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan awal dalam merancang kebijakan reformasi kurikulum di tingkat nasional, khususnya pada program studi pendidikan guru, sebagai bagian dari implementasi Merdeka Belajar-Kampus Merdeka yang menuntut integrasi antara teknologi, keterampilan berpikir, dan kolaborasi dalam praktik pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abeysekera, L., & Dawson, P. (2015). Motivation and cognitive load in the flipped classroom: Definition, rationale and a call for research. *Higher Education Research and Development*, 34(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/07294360.2014.934336>
- Aidoo, B., Macdonald, M. A., Vesterinen, V.-M., Pétursdóttir, S., & Gísladóttir, B. (2022). Transforming teaching with ICT using the flipped classroom approach: Dealing with COVID-19 pandemic. *Education Sciences*, 12(6), 421.
- Akçayır, G., & Akçayır, M. (2018). The flipped classroom: A review of its advantages and challenges. *Computers & Education*, 126, 334–345.
- Alexandron, G., Ruipérez-Valiente, J. A., & Pritchard, D. E. (2019). *Towards a general purpose anomaly detection method to identify cheaters in massive open online courses*.
- Allsop, Y. (2019). Assessing computational thinking process using a multiple evaluation approach. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 19, 30–55.
- Almasseri, M., & AlHojailan, M. (2019). How flipped learning based on the cognitive theory of multimedia learning affects students' academic achievements. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(6), 769–781. <https://doi.org/10.1111/jcal.12386>
- Altemueller, L., & Lindquist, C. (2017). Flipped classroom instruction for inclusive learning. *British Journal of Special Education*, 44(3), 341–358.
- Alterman, R., & Harsch, K. (2017). A more reflective form of joint problem solving. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 12, 9–33.
- Alvarez-Cedillo, J., Aguilar-Fernandez, M., Sandoval-Gomez, R. J., & Alvarez-Sanchez, T. (2019). Actions to Be Taken in Mexico towards Education 4.0 and Society 5.0. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 8(4), 693. <https://doi.org/10.11591/ijere.v8i4.20278>
- Angeli, C., & Giannakos, M. (2020). Computational thinking education: Issues and challenges. *Computers in Human Behavior*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106185>
- Anmarkrud, O., Andresen, A., & Braten, I. (2019). Cognitive Load and Working Memory in Multimedia Learning: Conceptual and Measurement Issues. *Educational Psychologist*, 54(2), 61–83. <https://doi.org/10.1080/00461520.2018.1554484>
- Apriwanda, W., & Hanri, C. (2022). Level of Creative Thinking Among Prospective Chemistry Teachers. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(2), 296–302. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i2.34572>
- Asef-Vaziri, A. (2015). The flipped classroom of operations management: A not-for-cost-reduction platform. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 13(1), 71–89.
- Aşıksoy, G. (2018). The effects of the gamified flipped classroom environment (GFCE) on students' motivation, learning achievements and perception in a physics course. *Quality & Quantity*, 52, 129–145.
- Astrachan, O., & Briggs, A. (2012). The CS principles project. *ACM Inroads*, 3(2), 38–42.
- Attard, C., & Holmes, K. (2022). An exploration of teacher and student perceptions of blended learning in four secondary mathematics classrooms. *Mathematics Education Research Journal*, 34(4), 719–740.

- Aurelia, F. (2021). Students Creative Thinking Profile as a High Order Thinking in the Improvement of Mathematics Learning. *European Journal of Educational Research*, 10(3), 1247–1258. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.3.1247>
- Avcı, Ü., & Yildiz Durak, H. (2023). Innovative thinking skills and creative thinking dispositions in learning environments: Antecedents and consequences. *Thinking Skills and Creativity*, 47(Journal Article), 101225. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101225>
- Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The split-attention principle in multimedia learning. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 2, 135–146.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47–89). Elsevier.
- Bakala, E., Gerosa, A., Hourcade, J. P., & Tejera, G. (2021). Preschool children, robots, and computational thinking: A systematic review. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 29, 100337.
- 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.
- Barrouillet, P., Corbin, L., Dagry, I., & Camos, V. (2015). An empirical test of the independence between declarative and procedural working memory in Oberauer's (2009) theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22, 1035–1040.
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A., & Kuhn, J. (2020). Investigating dynamic visualizations of multiple representations using mobile video analysis in physics lessons: Effects on emotion, cognitive load and conceptual understanding. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 26(1), 123–142.
- Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International society for technology in education.
- Binder, J. R., & Desai, R. H. (2011). The neurobiology of semantic memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(11), 527–536.
- Bishop, J., & Verleger, M. (2013). *Testing the flipped classroom with model-eliciting activities and video lectures in a mid-level undergraduate engineering course*. 161–163.
- Blau, I., & Shamir-Inbal, T. (2017). Re-designed flipped learning model in an academic course: The role of co-creation and co-regulation. *Computers & Education*, 115, 69–81.
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., & Engelhardt, K. (2016). *Developing computational thinking in compulsory education-Implications for policy and practice*. Joint Research Centre (Seville site).
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012). *New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking*. 1, 25.
- Caeli, E. N., & Yadav, A. (2020). Unplugged approaches to computational thinking: A historical perspective. *TechTrends*, 64(1), 29–36.
- Cai, H., & Gu, X. (2019). Supporting collaborative learning using a diagram-based visible thinking tool based on cognitive load theory. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2329–2345. <https://doi.org/10.1111/bjet.12818>
- Cammarata, L. (2016). *Content-based foreign language teaching: Curriculum and pedagogy for developing advanced thinking and literacy skills*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203850497>

- Castleman, B., & Meyer, K. (2019). Financial Constraints & Collegiate Student Learning: A Behavioral Economics Perspective. *Daedalus (Cambridge, Mass.)*, 148(4), 195–216. https://doi.org/10.1162/daed_a_01767
- Cevikbas, M., & Kaiser, G. (2020). Flipped classroom as a reform-oriented approach to teaching mathematics. *Zdm*, 52(7), 1291–1305.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332.
- Chen, O., Castro-Alonso, J., Paas, F., & Sweller, J. (2018). Extending Cognitive Load Theory to Incorporate Working Memory Resource Depletion: Evidence from the Spacing Effect. *Educational Psychology Review*, 30(2), 483–501. <https://doi.org/10.1007/s10648-017-9426-2>
- Chen, Y.-C., Fan, K.-K., & Fang, K.-T. (2021). Effect of flipped teaching on cognitive load level with mobile devices: The case of a graphic design course. *Sustainability*, 13(13), 7092.
- Cheng, L., Ritzhaupt, A. D., & Antonenko, P. (2019). Effects of the flipped classroom instructional strategy on students' learning outcomes: A meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 67, 793–824.
- Chiazzese, G., Arrigo, M., Chifari, A., Lonati, V., & Tosto, C. (2018). *Exploring the effect of a robotics laboratory on computational thinking skills in primary school children using the bebras tasks*. 25–30.
- Choi, S., Ju, H., Kim, J., & Song, J. (2024). Effects of heterogeneous complex-task sequencings on extraneous collective cognitive load, intrinsic motivation, and learning transfer in computer-supported collaborative learning. *Contemporary Educational Technology*, 16(2), ep507.
- Chongo, S., Osman, K., & Nayan, N. A. (2020). Level of Computational Thinking Skills among Secondary Science Student: Variation across Gender and Mathematics Achievement. *Science Education International*, 31(2), 159–163.
- Christensen, D. (2023). Computational Thinking to Learn Environmental Sustainability: A Learning Progression. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 26–44. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10004-1>
- Cohn-Sheehy, B. I., Delarazan, A. I., Reagh, Z. M., Crivelli-Decker, J. E., Kim, K., Barnett, A. J., Zacks, J. M., & Ranganath, C. (2021). The hippocampus constructs narrative memories across distant events. *Current Biology*, 31(22), 4935–4945.
- Comfort, L. K., & Wukich, C. (2013). Developing Decision-Making Skills for Uncertain Conditions: The Challenge of Educating Effective Emergency Managers. *Journal of Public Affairs Education*, 19(1), 53–71. <https://doi.org/10.1080/15236803.2013.12001720>
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114.
- Cowan, N. (2017). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24, 1158–1170.
- Cress, U., Stahl, G., Ludvigsen, S., & Law, N. (2015). The core features of CSCL: Social situation, collaborative knowledge processes and their design. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 10, 109–116.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (Sixth Edition). Sage publications.
- Daaif, J., Tridane, A., El Wafiq, M., Tridane, M., & Belaaouad, S. (2024). Perception of the use of an e-lab platform for university students during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Education and Practice*, 12(3), 932–952.

- De Cecco, J. P. (1968). *The psychology of learning and instruction: Educational psychology*. Prentice-Hall. <https://go.exlibris.link/8ttV9d1C>
- de Leng, B., & Pawelka, F. (2021). The cognitive load of the in-class phase of a flipped classroom course on radiology: Could computer support be of help? *Medical Teacher*, 43(2), 216–222. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2020.1841890>
- Decuyper, S., Dochy, F., & Van den Bossche, P. (2010). Grasping the dynamic complexity of team learning: An integrative model for effective team learning in organisations. *Educational Research Review*, 5(2), 111–133.
- Dhuey, E., Figlio, D., Karbownik, K., & Roth, J. (2019). School Starting Age and Cognitive Development. *Journal of Policy Analysis and Management*, 38(3), 538–578. <https://doi.org/10.1002/pam.22135>
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. (2015). *The systematic design of instruction* (8th). New York: Longmann.
- Dilekçi, A., & Karatay, H. (2023). The effects of the 21st century skills curriculum on the development of students' creative thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 47(Journal Article), 101229. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101229>
- Dillenbourg, P., Järvelä, S., & Fischer, F. (2009). *The evolution of research on computer-supported collaborative learning: From design to orchestration*. Springer.
- Dunlosky, J., & Metcalfe, J. (2008). *Metacognition*. Sage Publications.
- Edwards, S., & Evans, S. (2020). Curriculum Alignment of Thinking Skills Using Bloom's Taxonomy. *Language Research Bulletin*, 35(Journal Article), 21–32.
- Eichenbaum, H. (2017). Memory: Organization and control. *Annual Review of Psychology*, 68, 19–45.
- Fajrussalam, H., Mansyur, A. S., & Zaqiah, Q. Y. (2020). Gaining Education Character Based on Cultural Sundanese Values: The Innovation of Islamic Education Curriculum in Facing Era Society 5.0. *Jurnal Iqra' (Online)*, 5(1), 104–119. <https://doi.org/10.25217/ji.v5i1.910>
- Feldon, D. F., Franco, J., Chao, J., Peugh, J., & Maahs-Fladung, C. (2018). Self-efficacy change associated with a cognitive load-based intervention in an undergraduate biology course. *Learning and Instruction*, 56, 64–72.
- Fitriani, F., Nurhuda, N., & Ina, A. I. (2021). Improving students' activeness and critical thinking skills through problem based learning. *Journal of Science and Education*, 2(1), 19–29. <https://doi.org/10.56003/jse.v2i1.60>
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (Vol. 7). McGraw-hill New York.
- Gagné, R. M. (1987). *Instructional technology: Foundations*. L. Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9781315060248>
- Gao, X., & Hew, K. (2022). Toward a 5E-Based Flipped Classroom Model for Teaching Computational Thinking in Elementary School: Effects on Student Computational Thinking and Problem-Solving Performance. *Journal of Educational Computing Research*, 60(2), 512–543. <https://doi.org/10.1177/07356331211037757>
- Gardner, H. (1993). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences* (10th anniversary). BasicBooks. <https://go.exlibris.link/czMYKLBd>
- Gardner, H. (2020). *A synthesizing mind: A memoir from the creator of multiple intelligences theory*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/12405.001.0001>
- Gaul, C., & Kim, M. K. (2020). *Conceptualizing Computational Thinking Pedagogical Content Knowledge: An Exploratory Study*. 14–23.

- Gause, G., Mokgaola, I. O., & Rakhudu, M. A. (2022). Technology usage for teaching and learning in nursing education: An integrative review. *Curationis (Pretoria)*, 45(1), e1–e9. <https://doi.org/10.4102/curationis.v45i1.2261>
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155–170.
- Gentner, D., & Holyoak, K. J. (1997). Reasoning and learning by analogy: Introduction. *American Psychologist*, 52(1), 32.
- Gerber, A., Hinkelmann, K., & SpringerLink (Online service). (2021). *Society 5.0: First International Conference, Society 5.0 2021, Virtual Event, June 22-24, 2021, Revised Selected Papers: Vol. 1477*. (First 2021.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-86761-4>
- Gillies, R. M. (2019). Promoting academically productive student dialogue during collaborative learning. *International Journal of Educational Research*, 97, 200–209.
- Gong, D., Yang, H., & Cai, J. (2020). Exploring the key influencing factors on college students' computational thinking skills through flipped-classroom instruction. *International Journal of Educational Technology In Higher Education*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00196-0>
- Gros Lambert, A., & Mahon, A. D. (2006). Perceived Exertion: Influence of Age and Cognitive Development. *Sports Medicine (Auckland)*, 36(11), 911–928. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636110-00001>
- 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., & Cooper, S. (2015). *Systems of assessments” for deeper learning of computational thinking in K-12*. 15, 20.
- Hadad, R., Thomas, K., Kachovska, M., & Yin, Y. (2020). Practicing formative assessment for computational thinking in making environments. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 162–173.
- Hao, Y., & Lee, K. S. (2016). Teaching in flipped classrooms: Exploring pre-service teachers' concerns. *Computers in Human Behavior*, 57, 250–260.
- Hart, C., Da Costa, C., D'Souza, D., Kimpton, A., & Ljbusic, J. (2021). Exploring higher education students' critical thinking skills through content analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 41(Journal Article), 100877. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100877>
- Hasan, R., Lukitasari, M., Utami, S., & Anizar, A. (2019). The activeness, critical, and creative thinking skills of students in the Lesson Study-based inquiry and cooperative learning. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 5(1), 77–84. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v5i1.7328>
- Hativa, N., & Hativa, N. (2000). Clarity in teaching: Simplifying the material presented. *Teaching for Effective Learning in Higher Education*, 157–177.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112.
- Hegedus, S., Laborde, C., Brady, C., Dalton, S., Siller, H.-S., Tabach, M., Trgalova, J., & Moreno-Armella, L. (2016). *Uses of Technology in Upper Secondary Mathematics Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42611-2>
- Herreid, C. F., & Schiller, N. A. (2013). Case studies and the flipped classroom. *Journal of College Science Teaching*, 42(5), 62–66.
- Hinde, E. R., & Perry, N. (2007). Elementary Teachers' Application of Jean Piaget's Theories of Cognitive Development during Social Studies Curriculum Debates in

- Arizona. *The Elementary School Journal*, 108(1), 63–79.
<https://doi.org/10.1086/522386>
- Hirai, Shuichi & Lee, Mei Han. (2020). *Society 5.0: A People-centric Super-smart Society* (First 2020.). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4>
- Howard, E., & Sarbaum, J. (2022). Addressing Study Skills, Learning Theory and Critical Thinking Skills in Principles of Economics Courses. *Frontiers in Education (Lausanne)*, 7(Journal Article). <https://doi.org/10.3389/educ.2022.770464>
- Hsu, T.-C., Chang, S.-C., & Hung, Y.-T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. *Computers & Education*, 126, 296–310.
- Hsu, T.-C., & Liang, Y.-S. (2021). Simultaneously improving computational thinking and foreign language learning: Interdisciplinary media with plugged and unplugged approaches. *Journal of Educational Computing Research*, 59(6), 1184–1207.
- Hursen, C. (2021). The Effect of Problem-Based Learning Method Supported by Web 2.0 Tools on Academic Achievement and Critical Thinking Skills in Teacher Education. *Technology, Knowledge and Learning*, 26(3), 515–533.
<https://doi.org/10.1007/s10758-020-09458-2>
- Hwang, G.-J., Lai, C.-L., & Wang, S.-Y. (2015). Seamless flipped learning: A mobile technology-enhanced flipped classroom with effective learning strategies. *Journal of Computers in Education*, 2, 449–473.
- Janssen, J., & Kirschner, P. (2020a). Applying collaborative cognitive load theory to computer-supported collaborative learning: Towards a research agenda. *ETR&D-EDUCATIONAL TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT*, 68(2), 783–805. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09729-5>
- Janssen, J., & Kirschner, P. (2020b). Applying collaborative cognitive load theory to computer-supported collaborative learning: Towards a research agenda. *ETR&D-EDUCATIONAL TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT*, 68(2), 783–805. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09729-5>
- Janssen, J., & Kirschner, P. A. (2020c). Applying collaborative cognitive load theory to computer-supported collaborative learning: Towards a research agenda. *Educational Technology Research and Development*, 68(2), 783–805.
- Jeneson, A., & Squire, L. R. (2012). Working memory, long-term memory, and medial temporal lobe function. *Learning & Memory*, 19(1), 15–25.
- Jian, Q. (2019). Effects of digital flipped classroom teaching method integrated cooperative learning model on learning motivation and outcome. *The Electronic Library*.
- Jiang, D., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2021). Comparing face-to-face and computer-mediated collaboration when teaching EFL writing skills. *Educational Psychology*, 41(1), 5–24.
- Jocius, R., O’Byrne, W. I., Albert, J., Joshi, D., Robinson, R., & Andrews, A. (2021). Infusing Computational Thinking into STEM Teaching: From Professional Development to Classroom Practice. *Educational Technology & Society*, 24(4), 166–179. [https://doi.org/10.30191/ETS.202110_24\(4\).0013](https://doi.org/10.30191/ETS.202110_24(4).0013)
- Jonassen, D. (2003). Using cognitive tools to represent problems. *Journal of Research on Technology in Education*, 35(3), 362–381.
- Kalelioglu, F., Gülbahar, Y., & Kukul, V. (2016). A Framework for Computational Thinking Based on a Systematic Research Review. *Baltic Journal of Modern Computing*, 4(3), 583–583.
- Kalyuga, S. (2009). Cognitive load theory. In *Managing cognitive load in adaptive multimedia learning* (pp. 34–57). IGI Global.

- Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: How many types of load does it really need? *Educational Psychology Review*, 23, 1–19.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 13(4), 351–371.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learner experience and efficiency of instructional guidance. *Educational Psychology*, 21(1), 5–23.
- Kang, C., Liu, N., Zhu, Y., Li, F., & Zeng, P. (2022). Developing College students' computational thinking multidimensional test based on Life Story situations. *EDUCATION AND INFORMATION TECHNOLOGIES*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11189-z>
- Kek, M. Y. C. A., & Huijser, H. (2011). The power of problem-based learning in developing critical thinking skills: Preparing students for tomorrow's digital futures in today's classrooms. *Higher Education Research and Development*, 30(3), 329–341. <https://doi.org/10.1080/07294360.2010.501074>
- Kent, C., & Cukurova, M. (2020). Investigating collaboration as a process with theory-driven learning analytics. *Journal of Learning Analytics*, 7(1), 59–71.
- Khine, M. S. (2018). *Computational Thinking in the STEM Disciplines: Foundations and Research Highlights* (1st 2018.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93566-9>
- Kirschner, F., Paas, F., Kirschner, P., & Janssen, J. (2011). Differential effects of problem-solving demands on individual and collaborative learning outcomes. *Learning and Instruction*, 21(4), 587–599. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.01.001>
- Kirschner, P. A., & De Bruyckere, P. (2017). The myths of the digital native and the multitasker. *Teaching and Teacher Education*, 67, 135–142.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano, J. R. (2018). From Cognitive Load Theory to Collaborative Cognitive Load Theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213–233. <https://doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>
- Kirschner, P., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano, R. (2018). From Cognitive Load Theory to Collaborative Cognitive Load Theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213–233. <https://doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>
- Koh, K. H., Basawapatna, A., Nickerson, H., & Repenning, A. (2014). *Real time assessment of computational thinking*. 49–52.
- Kong, S., & Lai, M. (2023). Effects of a teacher development program on teachers' knowledge and collaborative engagement, and students' achievement in computational thinking concepts. *British Journal of Educational Technology*, 54(2), 489–512.
- Korkmaz, S., & Mirici, İ. H. (2021). Converting a conventional flipped class into a synchronous online flipped class during COVID-19: University students' self-regulation skills and anxiety. *Interactive Learning Environments*, 1–13.
- Kozulin, A. (2015). Vygotsky's Theory of Cognitive Development. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 25(Generic), 322–328. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.23094-8>
- Kumar, J. A., Bervell, B., & Osman, S. (2020). Google classroom: Insights from Malaysian higher education students' and instructors' experiences. *Education and Information Technologies*, 25, 4175–4195.

- Lai, C.-L., & Hwang, G.-J. (2016). A self-regulated flipped classroom approach to improving students' learning performance in a mathematics course. *Computers & Education, 100*, 126–140.
- Lai, X., & Wong, G. K. (2022). Collaborative versus individual problem solving in computational thinking through programming: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology, 53*(1), 150–170.
- Lei, H., Chiu, M. M., Li, F., Wang, X., & Geng, Y. (2020). Computational thinking and academic achievement: A meta-analysis among students. *Children and Youth Services Review, 118*, 105439.
- Li, M., & Zhang, Y. (2013). The Impacts of Student Background and Extracurricular Activities on the Output of General Education; A Manuscript for the International Journal of Chinese Education. *International Journal of Chinese Education, 2*(1), 93–107. <https://doi.org/10.1163/22125868-12340015>
- Liao, C.-W., Chen, C.-H., & Shih, S.-J. (2019). The interactivity of video and collaboration for learning achievement, intrinsic motivation, cognitive load, and behavior patterns in a digital game-based learning environment. *Computers & Education, 133*, 43–55.
- Lilienthal, L., Hale, S., & Myerson, J. (2014). The effects of environmental support and secondary tasks on visuospatial working memory. *Memory & Cognition, 42*, 1118–1129.
- Lim, L. (2012). Ideology, class and rationality: A critique of Cambridge International Examinations' Thinking Skills curriculum. *Cambridge Journal of Education, 42*(4), 481–495. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2012.733342>
- Lin, Y.-T., Wang, M.-T., & Wu, C.-C. (2019). Design and implementation of interdisciplinary STEM instruction: Teaching programming by computational physics. *The Asia-Pacific Education Researcher, 28*, 77–91.
- Liu, D., & Zhang, H. (2022). Improving Students' Higher Order Thinking Skills and Achievement Using WeChat based Flipped Classroom in Higher Education. *Education and Information Technologies, 27*(5), 7281–7302. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10922-y>
- Lo, C. K., & Hew, K. F. (2017). A critical review of flipped classroom challenges in K-12 education: Possible solutions and recommendations for future research. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 12*(1), 1–22.
- Lora, A. (2020). Computational Thinking Education for Students of a Post Graduate Degree in the Humanities: Flipped Classroom Experiences. *PROPOSITOS Y REPRESENTACIONES, 8*(1). <https://doi.org/10.20511/pyr2020.v8n1.439>
- Lundin, M., Bergviken Rensfeldt, A., Hillman, T., Lantz-Andersson, A., Peterson, L. (2018). Higher education dominance and siloed knowledge: A systematic review of flipped classroom research. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 15*(1), 1–30. <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0101-6>
- Mahdi, O. R., Nassar, I. A., & Almuslamani, H. A. I. (2020). The Role of Using Case Studies Method in Improving Students' Critical Thinking Skills in Higher Education. *International Journal of Higher Education, 9*(2), 297. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v9n2p297>
- Marzari, A., Di Mauro, M., Rosi, T., Onorato, P., & Malgieri, M. (2023). Investigating the principle of relativity and the principle of equivalence in classical mechanics: Design and evaluation of a teaching–learning sequence based on experiments and simulations. *Education Sciences, 13*(7), 712.
- Mayer, R. E. (2008). Applying the science of learning: Evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *American Psychologist, 63*(8), 760.

- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52.
- Mayer, R., & Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge university press.
- McLaughlin, J. E., White, P. J., Khanova, J., & Yuriev, E. (2016). Flipped classroom implementation: A case report of two higher education institutions in the United States and Australia. *Computers in the Schools*, 33(1), 24–37.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81.
- Moe, N. B., Dingsøyr, T., & Dybå, T. (2010). A teamwork model for understanding an agile team: A case study of a Scrum project. *Information and Software Technology*, 52(5), 480–491.
- Mok, H. N. (2014). Teaching tip: The flipped classroom. *Journal of Information Systems Education*, 25(1), 7.
- Morgan, H. (2022). Conducting a qualitative document analysis. *The Qualitative Report*, 27(1), 64–77.
- Muijs, D., & Reynolds, D. (2017). *Effective teaching: Evidence and practice*. Sage.
- Muliyati, D., Sumardani, D., Siswoyo, S., Bakri, F., Permana, H., Handoko, E., & Sari, N. L. K. (2022). Development and evaluation of granular simulation for integrating computational thinking into computational physics courses. *Education and Information Technologies*, 27(2), 2585–2612.
- Ng, M. E., & Chua, K. H. (2023). The Effect of Using PhET in Changing Malaysian Students' Attitude to Learning Physics in a Full Virtual Environment. *Pertanika Journal of Social Sciences & Humanities*, 31(2).
- O'Flaherty, J., & Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Internet and Higher Education*, 25, 85–95.
- Orban, C., & Teeling-Smith, R. (2020). Computational thinking in introductory physics. *The Physics Teacher*, 58(4), 247–251.
- Orhan, A. (2022). Critical thinking dispositions and decision making as predictors of high school students' perceived problem solving skills. *The Journal of Educational Research*, 115(4), 235–245. <https://doi.org/10.1080/00220671.2022.2113498>
- Owens, T. (2012). Hitting the nail on the head: The importance of specific staff development for effective blended learning. *Innovations in Education and Teaching International*, 49(4), 389–400. <https://doi.org/10.1080/14703297.2012.728877>
- Oyelere, S. S., Agbo, F. J., & Sanusi, I. T. (2022). Developing a pedagogical evaluation framework for computational thinking supporting technologies and tools. *Frontiers in Education (Lausanne)*, 7(Journal Article). <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.957739>
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (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. <https://doi.org/10.1177/0963721420922183>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., & Brennan, S. E. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906.

- Papageorgiou, S. N. (2022). On correlation coefficients and their interpretation. *Journal of Orthodontics*, 49(3), 359–361. <https://doi.org/10.1177/14653125221076142>
- Papert, S. (1980). *Children, computers, and powerful ideas*. Harvester.
- Parsons, T. D., Lin, L. (Policy analyst), Cockerham, D., & SpringerLink (Online service). (2019). *Mind, Brain and Technology: Learning in the Age of Emerging Technologies* (First 2019.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02631-8>
- Perković, L., Settle, A., Hwang, S., & Jones, J. (2010). *A framework for computational thinking across the curriculum*. 123–127.
- Phutela, D. (2015). The importance of non-verbal communication. *IUP Journal of Soft Skills*, 9(4), 43.
- Pieterse, A. N., Van Knippenberg, D., & van Ginkel, W. P. (2011). Diversity in goal orientation, team reflexivity, and team performance. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 114(2), 153–164.
- Polat, E., & Yilmaz, R. M. (2022). Unplugged versus plugged-in: Examining basic programming achievement and computational thinking of 6th-grade students. *Education and Information Technologies*, 27(7), 9145–9179.
- Posner, J., Russell, J. A., & Peterson, B. S. (2005). The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17(3), 715–734. <https://doi.org/10.1017/S0954579405050340>
- Pozdniakov, S. N., & Dagienė, V. (2018). Piaget's Cognitive Development in Bebras Tasks—A Descriptive Analysis by Age Groups. In *Informatics in Schools. Fundamentals of Computer Science and Software Engineering* (Vol. 11169, pp. 259–270). Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02750-6_20
- Prabavathi, R., & Nagasubramani, P. (2018). Effective oral and written communication. *Journal of Applied and Advanced Research*, 3(1), 29–32.
- Praetorius, A.-K., & Charalambous, C. Y. (2018). Classroom observation frameworks for studying instructional quality: Looking back and looking forward. *Zdm*, 50, 535–553.
- Qualls, J. A., & Sherrell, L. B. (2010). Why computational thinking should be integrated into the curriculum. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 25(5), 66–71.
- Radulović, B., Stojanović, M., & Županec, V. (2016). The effects of laboratory inquire-based experiments and computer simulations on high school students 'performance and cognitive load in physics teaching. *Zbornik Instituta Za Pedagoska Istrazivanja*, 48(2), 264–283.
- Rahman, A. (2021). High Participation, Low Impact: The Challenge for Teacher Professional Development in Indonesia. *International Journal of Pedagogy and Teacher Education*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.20961/ijpte.v5i1.46636>
- Rawson, K. A., Dunlosky, J., & Sciartelli, S. M. (2013). The power of successive relearning: Improving performance on course exams and long-term retention. *Educational Psychology Review*, 25(4), 523–548.
- Redifer, J., Bae, C., & DeBusk-Lane, M. (2019). Implicit Theories, Working Memory, and Cognitive Load: Impacts on Creative Thinking. *SAGE OPEN*, 9(1). <https://doi.org/10.1177/2158244019835919>
- Reidsema, C. (2017). *The flipped classroom: Practice and practices in higher education*. Springer. <https://go.exlibris.link/tNLhZL6w>
- Reif, F., & Heller, J. I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17(2), 102–127.

- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5–21.
- Retnowati, E. (2013). *Collaborative learning and cognitive load theory*. *Computers in Human Behavior*, 67, 678–691.
- Retnowati, E., Ayres, P., & Sweller, J. (2017). Can Collaborative Learning Improve the Effectiveness of Worked Examples in Learning Mathematics? *Journal of Educational Psychology*, 109(5), 666–679. <https://doi.org/10.1037/edu0000167>
- Retnowati, E., Ayres, P., & Sweller, J. (2018). Collaborative learning effects when students have complete or incomplete knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 32(6), 681–692. <https://doi.org/10.1002/acp.3444>
- Riduwan, M. (2015). Skala pengukuran variabel-variabel penelitian. *Alf. Bandung*.
- Robinson, F. J., Reeves, P. M., Caines, H. L., & De Grandi, C. (2020). Using open-source videos to flip a first-year college physics class. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 283–293.
- Roehl, A., Reddy, S. L., & Shannon, G. J. (2013). The flipped classroom: An opportunity to engage millennial students through active learning strategies. *Journal of Family & Consumer Sciences*, 105(2), 44–49.
- Román-González, M., Pérez-González, J.-C., & Jiménez-Fernández, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the Computational Thinking Test. *Computers in Human Behavior*, 72, 678–691.
- Rugg, M. D., & Vilberg, K. L. (2013). Brain networks underlying episodic memory retrieval. *Current Opinion in Neurobiology*, 23(2), 255–260.
- Ruthven, K., Hennessy, S., & Brindley, S. (2004). Teacher representations of the successful use of computer-based tools and resources in secondary-school English, Mathematics and Science. *Teaching and Teacher Education*, 20(3), 259–275.
- S Pipitgool, P. P., & S Tuntiwongwanich, A. N. (2021). Enhancing student computational thinking skills by use of a flipped-classroom learning model and critical thinking problem-solving activities: A conceptual framework. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(14), 1352–1363.
- Sáez-López, J.-M., Román-González, M., & Vázquez-Cano, E. (2016). Visual programming languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using “Scratch” in five schools. *Computers & Education*, 97, 129–141.
- Saide, S., & Sheng, M. L. (2021). Knowledge exploration-exploitation and information technology: Crisis management of teaching-learning scenario in the COVID-19 outbreak. *Technology Analysis & Strategic Management*, 33(8), 927–942. <https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1854714>
- Sajidan, S., Suranto, S., Atmojo, I. R. W., Saputri, D. Y., & Etviana, R. (2022). Problem-Based Learning-Collaboration (PBL-C) Model in Elementary School Science Learning in the Industrial Revolution Era 4.0 and Indonesia Society 5.0. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(3), 477–488. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i3.30631>
- Samaras, S. A., Adkins, C. L., & White, C. D. (2022). Developing critical thinking skills: Simulations vs. Cases. *Journal of Education for Business*, 97(4), 270–276. <https://doi.org/10.1080/08832323.2021.1932703>
- Sampson, D., Ifenthaler, D., Spector, J. M., Isaías, P., & SpringerLink (Online service). (2018). *Digital Technologies: Sustainable Innovations for Improving Teaching and Learning* (1st 2018.). Springer International Publishing. <https://go.exlibris.link/H3LYwwmT>

- Satparam, J., & Apps, T. (2022). A Systematic Review of the Flipped Classroom Research in K-12: Implementation, Challenges and Effectiveness. *Journal of Education, Management and Development Studies*, 2(1), 35–51.
- Saw, K. G. (2017). Cognitive load theory and the use of worked examples as an instructional strategy in physics for distance learners: A preliminary study. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 18(4), 142–159.
- Shernoff, E. S., Von Schalscha, K., Gabbard, J. L., Delmarre, A., Frazier, S. L., Buche, C., & Lisetti, C. (2020). Evaluating the usability and instructional design quality of Interactive Virtual Training for Teachers (IVT-T). *Educational Technology Research and Development*, 68, 3235–3262.
- Sitthiworachart, J., Joy, M., King, E., Sinclair, J., & Foss, J. (2022). Technology-Supported Active Learning in a Flexible Teaching Space. *Education Sciences*, 12(9), 634. <https://doi.org/10.3390/educsci12090634>
- Smith, A. T., Angotti, R. L., & Fink, L. (2012). ‘Why Are There So Many Words in Math?’: Planning for Content-Area Vocabulary Instruction. *Voices from the Middle*, 20(1), 43.
- Spreng, R. N., Madore, K. P., & Schacter, D. L. (2018). Better imagined: Neural correlates of the episodic simulation boost to prospective memory performance. *Neuropsychologia*, 113, 22–28.
- Squire, L. R., & Dede, A. J. (2015). Conscious and unconscious memory systems. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 7(3), a021667.
- Squire, L. R., & Knowlton, B. J. (2018). The organization of memory. In *The mind, the brain, and complex adaptive systems* (pp. 63–98). Routledge.
- Strelan, P., Osborn, A., & Palmer, E. (2020). The flipped classroom: A meta-analysis of effects on student performance across disciplines and education levels. *Educational Research Review*, 30, 100314.
- Strijbos, J.-W., & Weinberger, A. (2010). Emerging and scripted roles in computer-supported collaborative learning. *Computers in Human Behavior*, 26(4), 491–494.
- Su, J., & Yang, W. (2023). A systematic review of integrating computational thinking in early childhood education. *Computers and Education Open*, 4(Journal Article), 100122. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2023.100122>
- Subramaniam, S. R., & Muniandy, B. (2019). The effect of flipped classroom on students’ engagement. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(3), 355–372.
- Sunyono, L. Y., & Ibrahim, M. (2014). Model Pembelajaran Berbasis Multipel Representasi dalam Membangun Model Mental dan Penguasaan Konsep Kimia Dasar Mahasiswa. *Disertasi Doktor. Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya: Tidak Diterbitkan*.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295–312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>
- Sweller, J. (2016). Working Memory, Long-term Memory, and Instructional Design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>

- Sweller, J., Ayres, P. L., Kalyuga, S., & Chandler, P. (2003). *The expertise reversal effect*. Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 251–296.
- Tang, F., Chen, C., Zhu, Y., Zuo, C., Zhong, Y., Wang, N., Zhou, L., Zou, Y., & Liang, D. (2017). Comparison between flipped classroom and lecture-based classroom in ophthalmology clerkship. *Medical Education Online*, 22(1), 1395679.
- Tomory, A., & Watson, S. L. (2015). Flipped classrooms for advanced science courses. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 875–887.
- Tonkin, K., Page, S., & Forsey, M. (2019). Managing cognitive load with a flipped language class: An ethnographic study of the student experience. *Foreign Language Annals*, 52(3), 551–575.
- Tornero, B. (2017). Prospective Primary Teachers' Perceptions About Their Ability to Use and Teach Thinking Skills. *Journal of Constructivist Psychology*, 30(2), 127–145. <https://doi.org/10.1080/10720537.2015.1120693>
- Tulving, E., & Kroll, N. (1995). Novelty assessment in the brain and long-term memory encoding. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(3), 387–390.
- Turan, Z., & Akdag-Cimen, B. (2020). Flipped classroom in English language teaching: A systematic review. *Computer Assisted Language Learning*, 33(5–6), 590–606.
- Turan, Z., & Goktas, Y. (2016). The Flipped Classroom: Instructional efficiency and impact of achievement and cognitive load levels. *Je-LKS*, 12(4). <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1122>
- Umugiraneza, O., Bansilal, S., & North, D. (2018). Exploring teachers' use of technology in teaching and learning mathematics in KwaZulu-Natal schools. *Pythagoras (Pretoria, South Africa)*, 39(1), 1–13. <https://doi.org/10.4102/pythagoras.v39i1.342>
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, 114(1), 104.
- Valls Pou, A., Canaletta, X., & Fonseca, D. (2022). Computational Thinking and Educational Robotics Integrated into Project-Based Learning. *Sensors*, 22(10), 3746.
- Van Alten, D. C., Phielix, C., Janssen, J., & Kester, L. (2019). Effects of flipping the classroom on learning outcomes and satisfaction: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 28, 100281.
- Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work–energy processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184–194.
- Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: Design principles and strategies. *Medical Education*, 44(1), 85–93.
- Verawati, N., Ernita, N., & Prayogi, S. (2022). Enhancing the reasoning performance of STEM students in modern physics courses using virtual simulation in the LMS platform. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 17(13), 267–277.
- Voogt, J., Fisser, P., Good, J., Mishra, P., & Yadav, A. (2015). Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. *Education and Information Technologies*, 20(4), 715–728. <https://doi.org/10.1007/s10639-015-9412-6>
- Wahidin, D., & Romli, L. A. M. (2020). Students Critical Thinking Development in National Sciences and Mathematics Competition in Indonesia: A Descriptive Study. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(1), 106–116. <https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1.22240>

- Waldrop, J. B., & Bowdon, M. A. (2016). *Best practices for flipping the college classroom*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315777542>
- Wang, B., & Li, P. (2022). Digital creativity in STEM education: The impact of digital tools and pedagogical learning models on the students' creative thinking skills development. *Interactive Learning Environments, ahead-of-print*(ahead-of-print), 1–14. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2155839>
- Wang, C., Fang, T., & Gu, Y. (2020). Learning performance and behavioral patterns of online collaborative learning: Impact of cognitive load and affordances of different multimedia. *Computers & Education, 143*, 103683.
- Wang, Y. (2023). The role of computer supported project-based learning in students' computational thinking and engagement in robotics courses. *Thinking Skills and Creativity*, 101269.
- Wasfy, N., Abed, R., Gouda, E., Ghaly, M., & El-Wazir, Y. (2021). Effectiveness Of Instructional Design Framework Based On Cognitive Load Theory For Clinical Skills Training. *Advanced Education, 18*, 102–108. <https://doi.org/10.20535/2410-8286.225686>
- Weber, T. J., Sadri, G., & Gentry, W. A. (2018). Examining diversity beliefs and leader performance across cultures. *Cross Cultural & Strategic Management*.
- 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>
- Weller, D. P., Bott, T. E., Caballero, M. D., & Irving, P. W. (2022). Development and illustration of a framework for computational thinking practices in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research, 18*(2), 020106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020106>
- Williams, A., Sun, Z., Xie, K., Garcia, E., Ashby, I., Exter, M., Largent, D., Lu, P., Szafron, D., & Ahmed, S. (2016). Flipping STEM. In *The Flipped College Classroom: Conceptualized and Re-Conceptualized* (pp. 149–186). Springer.
- Williams, D. D., South, J. B., Yanchar, S. C., Wilson, B. G., & Allen, S. (2011). How do instructional designers evaluate? A qualitative study of evaluation in practice. *Educational Technology Research and Development, 59*, 885–907.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM, 49*(3), 33–35.
- Wixted, J. T., & Mickes, L. (2010). A continuous dual-process model of remember/know judgments. *Psychological Review, 117*(4), 1025.
- Worrell, B., Brand, C., & Repenning, A. (2015). *Collaboration and computational thinking: A classroom structure*. 183–187.
- Xiao, L., Larkins, R., & Meng, L. (2018). Track effect: Unraveling the enhancement of college students' autonomous learning by using a flipped classroom approach. *Innovations in Education and Teaching International, 55*(5), 521–532.
- Yadav, A., & Berthelsen, U. D. (2021). *Computational Thinking In Education: a pedagogical perspective*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003102991>
- Yadav, A., Zhou, N., Mayfield, C., Hambrusch, S., & Korb, J. (2011). Introducing computational thinking in education courses. *Proceedings of the 42nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education, 465–470*. <https://doi.org/10.1145/1953163.1953297>
- Ydyrysbaev, D., Kakimova, L. S., Gulnaz Sailaubaikyzy, B., Talgatbekovich, S. Y., Urmatova, A., & Orazbaev, E. (2022). Determining the Digital Transformation in Education in the Society 5.0 Process. *International Journal of Emerging*

- Technologies in Learning*, 17(18), 136–145.
<https://doi.org/10.3991/ijet.v17i18.32331>
- Yilmaz, R. M., & Baydas, O. (2017). An examination of undergraduates' metacognitive strategies in pre-class asynchronous activity in a flipped classroom. *Educational Technology Research and Development*, 65, 1547–1567.
- Yin, Y., Hadad, R., Tang, X., & Lin, Q. (2020). Improving and assessing computational thinking in maker activities: The integration with physics and engineering learning. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 189–214.
- Zain, D. S. M. (2022). Flipped Classroom Model For EFL/ESL Instruction in Higher Education: A Systematic Literature Review. *Journal of Language and Education*, 8(3), 133–149. <https://doi.org/10.17323/jle.2022.12855>
- Zambrano, J., Kirschner, F., Sweller, J., & Kirschner, P. A. (2019). Effects of group experience and information distribution on collaborative learning. *Instructional Science*, 47(5), 531–550.
- Zapata-Ros, M. (2019). Computational thinking unplugged. *Education in the Knowledge Society*, 20, 1–29.
- Zawilinski, L., Shattuck, J., & Hansen, D. (2020). Professional development to promote active learning in the flipped classroom: A faculty perspective. *College Teaching*, 68(2), 87–102.
- Zhang, J., Raza, M., Khalid, R., Parveen, R., & Ramírez-Asís, E. H. (2021). Impact of team knowledge management, problem solving competence, interpersonal conflicts, organizational trust on project performance, a mediating role of psychological capital. *Annals of Operations Research*, 1–21.
- Zhang, L. (2020). *Integrating Computational Thinking into Swedish Compulsory Education with Block-Based Programming: A case study from the perspective of teachers*. <https://go.exlibris.link/vfjGnC9D>
- Zhang, L., KaLyuga, Sl., Lee, C., & Lei, C. (2016). Effectiveness of collaborative learning of computer programming under different learning group formations according to students' prior knowledge: A cognitive load perspective. *Journal of Interactive Learning Research*, 27(2), 171–192.
- Zheng, R. Z., & Gardner, M. K. (2020). *Memory in Education*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780429019142>