

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PADA TOPIK PENCEMARAN
AIR DITINJAU DARI PARAMETER FISIKA, KIMIA, BIOLOGI
UNTUK MELATIH *SYSTEM THINKING SKILLS***

(Tesis)

Oleh

**NUR 'AINUN HARIYANTO
2223025001**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PADA TOPIK PENCEMARAN AIR DITINJAU DARI PARAMETER FISIKA, KIMIA, BIOLOGI UNTUK MELATIH *SYSTEM THINKING SKILLS*

Oleh

NUR 'AINUN HARIYANTO

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat praktikum pada topik pencemaran air ditinjau dari parameter fisika, kimia, dan biologi yang praktis dan efektif dalam melatih *system thinking skills*. Penelitian ini merupakan R&D yang mengacu pada model pengembangan 4D (*Define, Design, Development, Disseminate*) yang disarankan oleh Thiagarajan. Populasi pada penelitian ini adalah seluruh siswa kelas VII di SMPN 2 Labuhan Ratu. Teknik pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan Teknik *purposive sampling* sehingga didapatkan kelas VII.1 dengan 32 peserta didik sebagai subjek uji coba produk. Data validasi alat praktikum dilakukan oleh ahli dan guru menggunakan angket kesesuaian kemenarikan, konstruksi, dan keberfungsian dari alat praktikum pencemaran air dan data *system thinking skills* peserta didik diambil dengan instrumen berupa soal pretes dan postes. Teknik analisis data pada penelitian ini menggunakan uji *paired sample t-test* yang dianalisis menggunakan *software* SPSS versi 27.0. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa alat praktikum pencemaran air dan LKPD sebagai pendukung pada aspek kesesuaian materi, konstruksi, dan keterbacaan, oleh ahli dinyatakan valid dengan rata-rata persentase sangat tinggi, serta praktis berdasarkan hasil respon peserta didik. Hasil uji statistik didapatkan nilai *sig. 2 tailed* sebesar 0,000 yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai *pretest* dan *posttest system thinking skills* peserta didik setelah menggunakan alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan. Hal ini didukung dengan nilai rata-rata *n-gain* peserta didik sebesar 0,55 dengan kategori “sedang”. Berdasarkan hasil tersebut, alat praktikum pencemaran air hasil pengembangan dapat dinyatakan efektif untuk meningkatkan *system thinking skills* peserta didik.

Kata Kunci : alat praktikum, pencemaran air, *system thinking skills*

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF PRACTICAL TOOLS ON THE TOPIC OF WATER POLLUTION FROM THE ANALYSIS OF PHYSICAL, CHEMISTRY, AND BIOLOGY TO TRAIN SYSTEM THINKING SKILLS

By

NUR 'AINUN HARIYANTO

This study aims to develop practical and effective practical tools on the topic of water pollution in terms of physical, chemical, and biological parameters in training system thinking skills. This research is an R&D that refers to the 4D development model (Define, Design, Development, Disseminate) suggested by Thiagarajan. The population in this study were all seventh grade students at SMPN 2 Labuhan Ratu. The sampling technique in this study used a purposive sampling technique so that class VII.1 with 32 students were obtained as product trial subjects. Validation data for the practical tools were carried out by experts and teachers using a questionnaire on the suitability of the attractiveness, construction, and functionality of the water pollution practical tools and data on students' system thinking skills were taken with instruments in the form of pretest and posttest questions. The data analysis technique in this study used a paired sample t-test which was analyzed using SPSS software version 27.0. The results of the study indicate that the water pollution practicum tools and LKPD as a supporter in the aspects of material suitability, construction, and readability, were declared valid by experts with a very high average percentage, and practical based on the results of student responses. The results of the statistical test obtained a sig. 2-tailed value of 0.000 which means there is a significant difference between the average pretest and posttest scores of students' system thinking skills after using the developed water pollution practicum tools. This is supported by the average n-gain value of students of 0.55 with the "moderate" category. Based on these results, the developed water pollution practicum tools can be declared effective in improving students' system thinking skills.

Keywords: practical tools, water pollution, system thinking skills

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PADA TOPIK PENCEMARAN
AIR DITINJAU DARI PARAMETER FISIKA, KIMIA, BIOLOGI
UNTUK MELATIH *SYSTEM THINKING SKILLS***

Oleh

NUR ‘AINUN HARIYANTO

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER PENDIDIKAN**

Pada

**Program Studi Magister Pendidikan IPA
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Tesis

: **PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM
PADA TOPIK PENCEMARAN AIR
DITINJAU DARI PARAMETER FISIKA,
KIMIA, BIOLOGI UNTUK MELATIH
SYSTEM THINKING SKILLS**

Nama Mahasiswa

: Nur 'Ainun Hariyanto

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2223025001

Program Studi

: Magister Pendidikan IPA

Jurusan

: Pendidikan MIPA

Fakultas

: Keguruan dan Ilmu Pendidikan

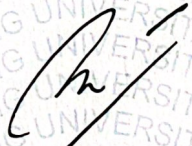


Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Kartini Herlina, M.Si.

NIP 19650616 199102 2 001

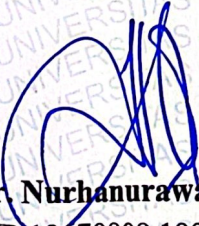

Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si.

NIP 19660824 199111 2 002

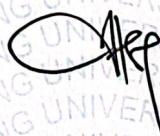
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Pendidikan MIPA

Koordinator Program Studi


Dr. Nurhanurawati, M.Pd.

NIP 19670808 199103 2 001


Prof. Dr. Neni Hasnunidah, M.Si.

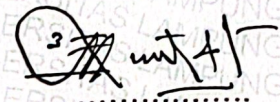
NIP 19700327 199403 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

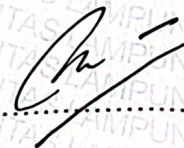
Ketua

: Dr. Kartini Herlina, M.Si.



Sekretaris

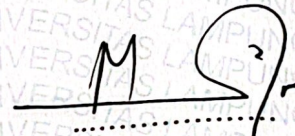
: Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si



Penguji

Bukan Pembimbing

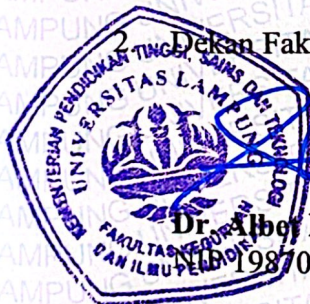
: I. Dr. M. Setyarini, M.Si.



II. Prof. Dr. Neni Hasnunidah, M.Si



Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd.

NIP 19870504 201404 1 001

3. Direktur Program Pascasarjana



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

NIP 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 14 Oktober 2025

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nur 'Ainun Hariyanto
Nomor Pokok Mahasiswa : 2223025001
Program Studi : Magister Pendidikan IPA
Jurusan : Pendidikan MIPA

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam tesis saya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar magister di suatu perguruan tinggi. Selain itu, di dalam tesis ini juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak di kemudian hari terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya, maka saya akan bertanggungjawab sepenuhnya.

Bandar Lampung, 2025

Yang menyatakan,



Nur 'Ainun Hariyanto

NPM. 22230250001

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Way Jepara, pada tanggal 03 Juni 1999, penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Sugeng Harianto dan Ibu Mahmudah. Penulis mengawali pendidikan di TK Nurul Huda pada 2003, kemudian pada tahun 2007 penulis melanjutkan studi di SDIT Baitul Muslim dan diselesaikan pada tahun 2012. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Way Jepara, diselesaikan pada tahun 2014. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Way Jepara, dan diselesaikan tahun 2017. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi jenjang S-1 program studi Pendidikan Fisika di Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, dan diselesaikan pada tahun 2021. Pada saat kuliah penulis telah melaksanakan PPL di SMKN 2 Bandar Lampung, dan kuliah kerja lapangan di Desa Labuhan Ratu IV, Kecamatan Labuhan Ratu, Lampung Timur.

Setelah menyelesaikan studi S-1, penulis melanjutkan studi Program Profesi Guru (PPG) Prajabatan 2023 jurusan Pendidikan Fisika. Penulis melanjutkan studi magister dan terdaftar sebagai mahasiswa program studi magister pendidikan IPA jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung pada tahun 2022 melalui jalur reguler.

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan kesabaran yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis, dengan kerendahan hati, kupersembahkan karya tulis ini sebagai ungkapan terimakasih kepada:

Bapak (Sugeng Harianto) dan Ibu (Mahmudah)
Kakak tersayang (Munirul Ikhwan Harianto) dan adik tersayang (Muhamad Iqbal Hariyanto)

Terima kasih atas senantiasa mendoakan, memberikan motivasi, semangat, serta kasih sayang tanpa henti selama proses penyelesaian tesis ini. Kalian adalah sumber semangat dan kekuatan terbesar bagi penulis.

MOTTO

“Tidak ada kata terlambat untuk belajar.”

(B.J. Habibie)

**“Ilmu tanpa amal adalah kegilaan, amal tanpa ilmu adalah kesia-
siaan.”**

(Imam Ghazali)

SANWACANA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya sehingga dapat diselesaikan tesis berjudul “Pengembangan alat praktikum pada topik pencemaran air ditinjau dari parameter fisika, kimia, biologi untuk melatih *system thinking skills*” sebagai salah satu syarat mencapai gelar magister Pendidikan di Universitas Lampung.

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung;
3. Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd. selaku Dekan FKIP Universitas Lampung;
4. Dr. Nurhanurawati, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
5. Prof. Dr. Neni Hasnunidah M.Si. selaku Ketua Program Studi Magister Pendidikan IPA dan Pembahas II atas masukan dan saran perbaikan ;
6. Dr. Kartini Herlina, M.Si. Pembimbing I atas kesediaan, keikhlasan dan kesabarannya memberikan bimbingan, saran dan masukan selama penulisan tesis;
7. Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si. selaku Pembimbing II atas kesediaan, keikhlasan dan kesabarannya memberikan bimbingan, saran dan masukan selama penulisan tesis;
8. Dr. M. Setyarini, M.Si. selaku Pembahas I atas masukan dan saran perbaikan yang telah diberikan;
9. Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si. selaku Validator II atas segala bimbingan dan saran perbaikan produk penelitian yang telah diberikan;

10. Dr. Dina Maulina, M.Si. selaku Validator II atas segala bimbingan dan saran perbaikan produk penelitian yang telah diberikan;
11. Dosen-dosen Program Studi Magister Pendidikan IPA Universitas Lampung atas ilmu yang telah Bapak dan Ibu berikan;
12. Kepala SMPN 2 Labuhan Ratu Bapak Antonius Ambar W, S.Pd. dan Ibu Nurul Siami, S.Pd. guru mata pelajaran IPA yang telah memberikan izin penelitian;
13. Teman seperjuangan magister Pendidikan IPA angkatan 2022, kakak-kakak dan adik-adik tingkat di Magister Pendidikan IPA, terima kasih atas kerjasamanya;

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis dan semoga tesis ini dapat bermanfaat.

Bandar Lampung, 2025
Penulis,

Nur ‘Ainun Hariyanto

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat penelitian.....	8
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	9
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Alat Praktikum	10
2.2 Keterampilan Berpikir Sistem	12
2.3 Hubungan Berpikir Sistem dengan penggunaan Alat praktikum	16
2.4 Parameter Fisika	19
2.4.1 Pengertian parameter fisika.....	19
2.4.2 Parameter Biologi.....	22
2.4.3 Parameter Kimia.....	23
2.5 Indeks pencemaran	26
2.6 Sensor pH	26
2.5 Liquid Crystal Display (LCD).....	28
2.7 Arduino uno	29
2.7 Prinsip Dasar Polarimeter	30
2.8 Penelitian yang Relevan	31
III. METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Alur Penelitian	36
3.2 Subyek dan Lokasi Penelitian	42
3.3 Sumber Data.....	42
3.4 Instrumen Penelitian.....	43
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	46
3.6 Teknik Analisis Data.....	47
3.7 Teknik pengujian hipotesis	53
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Hasil Penelitian	56
4.1.1 Tahap pendefinisian (<i>Define</i>).....	56

4.1.2 Tahap perancangan (<i>Design</i>)	62
4.1.3 Tahap pengembangan (<i>Develop</i>)	65
4.1.4 Tahap penyebaran (<i>Disseminate</i>).....	82
4.2 Pembahasan.....	82
V. SIMPULAN DAN SARAN	96
5.1 Simpulan	96
5.2 Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA	98

Lampiran

1. Angket analisis kebutuhan guru	103
2. Angket analisis kebutuhan siswa.....	106
3. Angket respon siswa setelah melakukan pembelajaran	108
4. Angket validasi isi	109
5. Angket Validasi Kemenarikan	111
6. Angket Validasi Kemenarikan	113
7. Angket kinerja siswa	115
8. Lembar penilaian pembuatan produk.....	116
9. Modul Ajar	117
10. Rubrik penilaian kinerja	124
11. Rubrik penilaian pembuatan produk	126
12. Soal pretes-postes	127
13. Kisi-kisi soal pretes-postes.....	128
14. Rubrik penilaian pretes-postes	130
15. LKPD	133
16. Hasil studi pendahuluan peserta didik.....	140
17. Hasil studi pendahuluan guru.....	142
18. Data validitas dan reliabilitas peserta didik.....	144
19. Data hasil validitas dan reliabilitas peserta didik	145
20. Data pretes.....	147
21. Data postes	149
22. Data n-Gain	151
23. Data hasil penilaian kinerja peserta didik (1).....	153
24. Data hasil penilaian kinerja peserta didik (2).....	154
25. Hasil validasi aspek kesesuaian kemenarikan.....	155
26. Hasil validasi ahli aspek uji keberfungsian alat	158
27. Hasil validasi aspek kesesuaian konstruksi.....	161
28. Hasil output uji normalitas	163
29. Hasil output uji <i>paired sample T-test</i>	164
30. Hasil <i>repertory grid</i>	165
31. Instrumen <i>repertory grid</i>	173

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Indikator keterampilan berpikir sistem	14
2. Penelitian yang relevan	32
3. Desain Penelitian.....	41
4. Kriteria presentase analisis validasi	49
5. Kriteria persentase analisis kepraktisan	50
6. Kriteria keterlaksanaan pembelajaran	51
7. Kriteria koefisien validitas	51
8. Kriteria koefisien reliabilitas.....	51
9. Kategori <i>n-Gain</i>	53
10. Tujuan pembelajaran dan kriteria ketercapaian tujuan pembelajaran	63
11. Hasil Validasi Ahli.....	66
12. Hasil validasi konstruksi	67
13. Hasil validasi kemenarikan	67
14. Hasil keberfungsian alat praktikum	68
15. Persentase hasil respon guru terhadap alat praktikum	69
16. Hasil respon guru terhadap konstruksi produk alat praktikum	70
17. Hasil respon guru terhadap kemenarikan alat praktikum	71
18. Hasil respon guru terhadap keberfungsian alat praktikum.....	71
19. Hasil uji validitas soal pretes/postes	73
20. Hasil rata-rata pretes dan postes keterampilan berpikir sistem	74
21. Hasil uji normalitas pretes, postes, dan <i>n-Gain</i>	75
22. Hasil uji t nilai pretes-postes	76
23. Hasil angket respon terhadap alat praktikum dengan responden peserta didik	76
24. Keterlaksanaan hierarki dan sistem sosial	78
25. Rata-rata hasil uji <i>repertory grid</i>	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. p21 <i>framework</i>	17
2. Keterampilan berpikir kritis : bagian berpikir sistem	18
3. Warna.....	21
4. Kekeruhan.....	22
5. Sensor suhu.....	23
6. Sensor pH.....	28
7. <i>Liquid Crystal Display</i>	29
8. Arduino uno.....	30
9. Kerangka Pemikiran.....	38
10. Desain pengembangan 4D menurut Thiagarajan (1974)	35
11. Alur pengembangan alat praktikum pada topik pencemaran air Gambar	36
12. Hasil angket analisis ujung-depan.....	57
13. Hasil angket analisis peserta didik	59
14. Nilai rata-rata keterampilan berpikir sistem per hierarki	75
15. Alat praktikum yang dikembangkan	82
16. Jawaban peserta didik pada tahap <i>stimulation</i>	87
17. Jawaban peserta didik pada tahap <i>problem statement</i>	88
18. Jawaban peserta didik pada tahap <i>data collection</i>	89
19. Jawaban peserta didik tahap <i>data processing</i>	91
20. Jawaban peserta didik tahap <i>verification</i>	92
21. Jawaban peserta didik tahap <i>generalization</i>	93

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterampilan berpikir sistem (*system thinking skills*) merupakan salah satu keterampilan penting yang diperlukan oleh generasi masa depan dalam menghadapi tantangan yang sangat kompleks. Berpikir sistem memungkinkan individu untuk memahami dan menganalisis kompleksitas sistem yang ada di dunia. Hal ini melibatkan keterampilan untuk melihat hubungan antara komponen-komponen dalam suatu sistem dan bagaimana interaksi tersebut mempengaruhi keseluruhan sistem (Orion, 2005). Keterampilan berpikir sistem ini termasuk salah satu keterampilan kunci di abad ke-21 karena membantu peserta didik mengatur pemikiran mereka secara bermakna dan membangun hubungan antara masalah-masalah yang mungkin tampak tidak terkait (Meilinda dkk., 2018). Keterampilan berpikir sistem sangat penting bagi generasi muda agar dapat memahami kerumitan hubungan antar manusia dalam mengikuti perkembangan menuju pembangunan berkelanjutan secara global. Keterampilan ini memudahkan peserta didik akan dalam mengaitkan berbagai materi yang dipelajari untuk memecahkan masalah (Schuler, 2017).

Berpikir sistem dapat menstimulus keterampilan menyelesaikan masalah dengan mempertimbangkan berbagai aspek dari keseluruhan sumber serta keterkaitan konsep dengan bidang ilmu lainnya. Zoller & Nahum (2012) menyatakan bahwa berpikir sistem, dengan berbagai indikatornya, digolongkan sebagai bagian dari *high-order thinking skills* (HOTS) atau keterampilan berpikir tingkat tinggi. Keterampilan berpikir sistem memiliki keterkaitan yang erat dengan pengetahuan

spesifik pada suatu domain konten, namun pengetahuan tersebut harus memiliki karakteristik yang sistematis. Berpikir sistem bertujuan untuk meningkatkan keterampilan dalam mengidentifikasi dan memahami suatu sistem, memprediksi perilaku manusia, serta merancang dan memodifikasi sesuatu untuk membantu pekerjaan manusia. Ben-Zvi Assaraf dan Orion (2005) mengidentifikasi delapan karakteristik berpikir sistem yaitu, keterampilan untuk mengidentifikasi komponen-komponen suatu sistem dalam konteks sistem, keterampilan untuk mengidentifikasi hubungan-hubungan di antara komponen-komponen system, keterampilan untuk mengidentifikasi hubungan-hubungan dinamis dalam system, keterampilan mengatur komponen dan proses sistem dalam kerangka hubungan, keterampilan untuk memahami sifat siklus sistem, keterampilan untuk membuat generalisasi, memahami dimensi tersembunyi dari sistem, dan berpikir secara temporal meliputi retrospeksi dan prediksi.

Peserta didik yang memiliki kompetensi berpikir sistem dapat memahami dinamika sistem kehidupan yang terus berkembang. Selain itu, kompetensi ini juga membantu memperbaiki prosedur operasi standar dalam penanggulangan bencana dan kejadian serupa di masa depan. Oleh karena itu, keterampilan berpikir sistem sangat penting untuk dikembangkan di sekolah sebagai kompetensi yang membantu peserta didik memahami sistem kehidupan dan menangani masalah keberlanjutan (Hamdu dkk., 2021).

Keterampilan berpikir tidak hanya sekedar belajar dan memahami sains, tetapi juga berkaitan dengan kehidupan peserta didik di luar sekolah dan memungkinkan mereka mengevaluasi informasi yang diberikan oleh media, memahami dunia tempat mereka tinggal dan bertindak dengan tepat. Kuhn (2005) menambahkan bahwa untuk mempersiapkan generasi muda kita untuk terlibat dalam perdebatan yang efektif mengenai isu-isu penting yang muncul dalam komunitas lokal dan global adalah dengan mempersiapkan mereka untuk berpikir dengan baik, secara individu dan terutama secara kolaboratif, dan menghargai tindakan tersebut, sebagai upaya untuk mencapai tujuan tersebut.

Proses berpikir sistem akan memengaruhi tindakan dan perilaku seseorang, dan juga berdampak pada pola pikir (*mindset*), yaitu cara seseorang memandang dan merespons suatu masalah berdasarkan pemahaman mereka terhadap objek pemikiran tersebut. Pola pikir itu sendiri merupakan serangkaian keyakinan atau cara berpikir yang memengaruhi perilaku dan sikap seseorang, yang pada akhirnya akan menentukan keberhasilan hidupnya. Keterampilan berpikir sistem yang baik akan membantu peserta didik dalam pengambilan keputusan sehingga dapat menghindari kesalahan, karena dengan berpikir sistem, peserta didik dapat membuat keputusan yang lebih menyeluruh dengan mempertimbangkan dampak keputusan tersebut terhadap bidang lain (Clark dkk., 2017). Berpikir sistem merupakan salah satu bentuk pemikiran yang kompleks.

Keterampilan ini sangat penting untuk dilatihkan dalam dunia pendidikan karena pembelajaran di sekolah masih cenderung berfokus pada fakta-fakta yang terpisah, bukan pada hubungan sistemik dan proses yang berkelanjutan. Meskipun diakui penting, integrasi pemikiran sistem dalam pendidikan masih tergolong terbatas, hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Gilissen dkk., (2016). Keterampilan berpikir sistem mengharuskan pemahaman tentang struktur berlapis dari berbagai konsep dan keterhubungan di antara konsep-konsep tersebut (Gilberta, 2018).

Keterbatasan tersebut terlihat pada belum tersedianya alat praktikum yang mendukung analisis sistem secara menyeluruh, baik dari aspek fisika, kimia, maupun biologi. Praktikum yang dilakukan umumnya bersifat sederhana dan belum memungkinkan peserta didik untuk memperoleh pengalaman belajar yang komprehensif terhadap suatu sistem pencemaran. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara pembelajaran yang diharapkan mampu melatih keterampilan berpikir sistem, dengan kondisi pembelajaran di lapangan yang belum sepenuhnya mendukung tercapainya kompetensi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan alat praktikum yang dapat mengukur parameter pencemaran air secara terintegrasi, serta mendukung proses pembelajaran yang mengembangkan keterampilan berpikir sistem secara kontekstual.

Berdasarkan data yang diperoleh dari *Programme for International Student Assessment* (PISA), keterampilan berpikir sistem merupakan salah satu aspek yang dinilai dalam asesmen yang diselenggarakan oleh *Organisation for Economic Cooperation and Development* (OECD). Hasil rata-rata pada tahun 2022 menurun dibandingkan dengan tahun 2018, oleh karena itu, capaian hasil PISA yang rendah dapat mengindikasikan bahwa keterampilan berpikir sistem peserta didik juga berada pada tingkat yang rendah (OECD, 2022).

Model pembelajaran yang bersifat konvensional lebih berfokus pada pemahaman aspek teoretis semata, sedangkan literasi sains menuntut peserta didik tidak hanya memahami konsep sains, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari. Pembelajaran sains masih didominasi oleh transfer ilmu sebagai produk, yang mencakup fakta, hukum, dan teori, sehingga peserta didik tidak tanggap terhadap masalah yang terjadi disekitar lingkungannya, seperti membuang sampah sembarangan sehingga berkontribusi kerusakan lingkungan.

Salah satu bentuk kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh manusia adalah adanya revolusi industri. Berbagai aktivitas manusia terutama industri dapat menyebabkan penurunan kualitas air sungai. Industri nanas sebagai contoh yang sering kali menghasilkan limbah cair yang mengandung zat-zat kimia berbahaya. Limbah ini dapat masuk ke dalam sungai melalui proses pembuangan yang tidak terkendali sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem sungai (Maramis dkk., 2020).

Umumnya daerah di sekitar kawasan industri merupakan tempat yang padat akan penduduk karena kegiatan industri melibatkan banyak orang untuk memproduksi suatu produk di industri tersebut. Padatnya penduduk berbanding lurus dengan kebutuhan akan air, semakin banyak penduduk maka kebutuhan akan air semakin meningkat. Dampak negatif pada kualitas juga kuantitas terhadap air tanah tersebut. Air sungai merupakan sumber air yang sangat strategis dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Air merupakan sumber daya alam yang memenuhi kebutuhan hidup manusia sehingga perlu dilindungi agar dapat tetap bermanfaat bagi hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya, salah

satunya air sungai (Ahmad, 2009). Namun, pada kenyataannya manusia merupakan faktor utama dari kerusakan lingkungan (Hidayat dkk., 2023). Aktivitas-aktivitas manusia yang tidak ramah lingkungan seperti penebangan hutan dan alih fungsi hutan, pertambangan, maupun pencemaran udara, air, dan tanah dengan perkembangan industri (Susilowati dkk., 2022).

Industri nanas, dengan proses produksinya yang melibatkan banyak bahan kimia dan proses pengolahan yang tidak selalu efektif, berpotensi besar menjadi sumber pencemaran air sungai. Peningkatan produksi industri nanas di daerah-daerah tertentu telah menyebabkan peningkatan beban limbah cair yang masuk ke dalam sungai (Suryanto dkk., 2020). Hal ini tidak hanya mengganggu kehidupan biota air tetapi juga dapat berdampak pada kesehatan manusia yang menggunakan air sungai sebagai sumber air minum atau keperluan lainnya.

Melatih keterampilan berpikir sistem tidak hanya mengharuskan peserta didik mempelajari berbagai komponen yang terkait, tetapi juga mengimplentasikan pengetahuannya dalam menyelesaikan masalah melalui eksperimen diawali dengan mengidentifikasi sampai mengimplementasikan dalam kegiatan praktikum. Pengembangan alat praktikum pada topik pencemaran air merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kesadaran dan keterampilan dalam mengukur kualitas air sungai yang tercemar. Pencemaran air sungai dapat ditinjau dari tiga aspek yaitu fisika, kimia dan biologi. Parameter fisika seperti *Total Suspended Solid* (TSS) dan turbulensi dapat menunjukkan kehadiran partikulat dan kejernihan air. Parameter kimia seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan pH dapat menunjukkan kehadiran zat-zat organik dan kimia yang berpotensi merusak ekosistem. Parameter biologi seperti *Dissolved Oxygen* (DO) dan keanekaragaman hayati dapat menunjukkan keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan kehidupan biota air.

Pada konteks ini, penulis tidak hanya terfokus pada parameter kualitas air seperti pH, tetapi juga pada sifat optik yang terkait dengan polarimeter. Polarimeter, sebagai alat yang digunakan untuk mengukur aktivitas optik suatu senyawa, memiliki aplikasi yang luas dalam menilai kualitas air. Aktivitas optik dapat mem-

berikan informasi tentang komponen-komponen organik dan anorganik yang terkandung dalam air sungai, yang pada gilirannya dapat menunjukkan tingkat polusi dan keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, perlu dikembangkan alat analisis kualitas air sungai yang dapat mengukur parameter tersebut secara otomatis dan akurat.

Berdasarkan hasil studi pendahuluan yang dilakukan melalui penyebaran angket menggunakan *google form* kepada guru dan peserta didik di beberapa SMP di Kabupaten Lampung Timur, diperoleh data mengenai pelaksanaan praktikum dan penggunaan alat praktikum dalam pembelajaran IPA. Selama proses pembelajaran pernah dilakukan praktikum menurut respon peserta didik sebanyak 94,1%, dengan sub bab materi terbanyak adalah pencemaran udara sebanyak 47,1%, pencemaran air 32,4% dan pencemaran tanah sebanyak 20,6%. Menurut peserta didik guru melakukan eksperimen dalam pembelajaran sebanyak 50%. Menurut peserta didik alat praktikum yang digunakan guru seperti botol dengan penyaring yang telah diisi tanah, papel (papan pelangi), filtrasi air sederhana, serta menggunakan bahan dan alat yang sederhana, namun sebanyak 50% peserta didik menyatakan tidak melakukan eksperimen. Peserta didik hanya menggunakan buku, menonton video berkaitan dengan pencemaran lingkungan, dan juga tidak pernah melakukan praktikum selama proses pembelajaran. Alat praktikum yang digunakan tidak dapat mengukur indikator dari pencemaran air, menurut jawaban peserta didik hal ini dikarenakan alat praktikum yang digunakan masih sangat sederhana dan bahkan tidak ada praktikum dengan alat praktikum selama proses pembelajaran.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang dilakukan kepada guru sebanyak 14 guru IPA di Lampung Timur diperoleh hasil sudah menerapkan pembelajaran menggunakan alat praktikum dalam materi pencemaran namun belum menggunakan alat praktikum yang otomatis. Pembelajaran pada topik pencemaran lingkungan dilakukan dengan praktikum yang menggunakan alat praktikum sebanyak 66,7%, dengan kegiatan yang dilakukan menggunakan alat praktikum seperti memasukkan ikan ke-dalam toples air bersih dan air yang sudah dicampur detergen, dan sebanyak 72,2 % guru tidak melakukan praktikum menggunakan

alat praktikum, melainkan pembelajaran dilakukan dengan literasi, menampilkan video pembelajaran tentang pencemaran lingkungan. Guru belum mengetahui alat praktikum yang sudah terinput secara otomatis seperti sensor pH-4502C sebanyak 94,4%, alat praktikum yang digunakan belum dapat digunakan untuk melihat indikator lain yang dapat diukur dan dilihat sebanyak 94,4%, sebagian besar guru menerapkan pembelajaran dengan literasi dan menayangkan video tanpa mengintegrasikan praktikum menggunakan alat praktikum sebanyak 72,2%, sebanyak 50% guru belum mengetahui keterampilan berpikir sistem dan belum mengintegrasikannya kedalam pembelajaran serta masih banyak yang belum menerapkan pembelajaran dengan praktikum pada materi pencemaran lingkungan, serta belum menggunakan alat praktikum yang memadai untuk materi pencemaran lingkungan.

Praktikum memiliki peran penting dalam membantu peserta didik memahami konsep pencemaran secara kontekstual dan melatih keterampilan berpikir sistem. Namun, pelaksanaannya di sekolah masih terkendala pada alat praktikum yang digunakan. Alat yang tersedia umumnya masih sederhana dan belum mampu mengukur parameter pencemaran air secara menyeluruh, baik dari aspek fisika, kimia, maupun biologi. Selain itu, alat tersebut belum dilengkapi sistem otomatis yang dapat menyajikan data secara langsung. Keterbatasan ini menyulitkan peserta didik untuk memahami keterkaitan antar komponen pencemaran sebagai suatu sistem. Oleh karena itu, perlu dikembangkan alat praktikum otomatis yang dapat menyajikan data secara terintegrasi dan mendukung pengembangan keterampilan berpikir sistem peserta didik.

Mengacu pada permasalahan rendahnya keterampilan berpikir sistem yang dapat dilihat dari data PISA dan ditandai dengan abainya masyarakat seperti membuang limbah industri ke sungai. Berpikir sistem penting bagi peserta didik untuk memecahkan masalah, tidak hanya melihat komponen-komponen sistem, tetapi juga dapat memecahkan masalah dengan cara melihat apa saja indikasi pencemaran itu, sehingga diharapkan akan bisa menyelesaikannya. Oleh karena itu perlu dikembangkan alat yang bisa mengukur kualitas air sungai di sekitar industri dengan melihat parameter fisika, kimia, dan biologi yang diharapkan dapat meningkatkan

keterampilan berpikir sistem, oleh karena itu penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengembangan Alat Praktikum pada Topik Pencemaran Air Ditinjau dari Parameter Fisika, Kimia, Biologi untuk Melatih *System Thinking Skills*”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana kevalidan produk alat praktikum yang dikembangkan untuk meningkatkan keterampilan berpikir sistem peserta didik?
2. Bagaimana keefektifan produk alat praktikum yang dikembangkan untuk meningkatkan keterampilan berpikir sistem peserta didik?
3. Bagaimana respon pendidik dan peserta didik terhadap alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mendeskripsikan kevalidan produk alat praktikum yang dikembangkan untuk meningkatkan keterampilan berpikir sistem peserta didik.
2. Mendeskripsikan keefektifan produk alat praktikum yang dikembangkan.
3. Mendeskripsikan respon pendidik dan peserta didik terhadap alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan.

1.4 Manfaat penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memfasilitasi peserta didik dalam pembelajaran melalui praktikum dengan menggunakan alat praktikum.

2. Menambah wawasan pendidik akan pembaharuan alat praktikum untuk praktikum pada materi pencemaran air.
3. Referensi untuk pendidik dalam mengintegrasikan praktikum dengan alat yang otomatis dalam pembelajaran.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain pengembangan model 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*) yang dikemukakan oleh Thiagarajan et al. (1974)
2. Produk yang dikembangkan berupa alat praktikum otomatis untuk topik pencemaran air.
3. Instrumen penilaian keterampilan berpikir sistem mengacu pada hierarki *system thinking skills* yang dikembangkan oleh Ben-Zvi Assaraf dan Orion, yang mencakup delapan indikator dalam tiga level (A, B, dan C).
4. Subjek dalam penelitian ini adalah peserta didik kelas VII dan guru IPA di salah satu SMP di Kabupaten Lampung Timur.
5. Alat praktikum dikatakan layak apabila memenuhi tiga kriteria, yaitu:
 - a. Valid, berdasarkan penilaian ahli materi, media, dan pembelajaran;
 - b. Efektif, apabila mampu meningkatkan keterampilan berpikir sistem berdasarkan perbandingan hasil pretest dan posttest dengan nilai N-Gain minimal dalam kategori sedang.
 - c. Praktis, berdasarkan respon guru dan peserta didik terhadap kemudahan, kemanfaatan, dan keterbacaan alat;

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alat Praktikum

Media pembelajaran merupakan elemen penting dalam proses pendidikan yang berfungsi sebagai sarana komunikasi antara guru dan peserta didik. Kehadiran media pembelajaran diharapkan mampu membantu peserta didik memahami materi yang disampaikan oleh guru dengan lebih efektif. Media ini juga dirancang untuk menciptakan suasana pembelajaran yang berbeda, meningkatkan antusiasme peserta didik, serta mendorong peserta didik untuk berpikir secara kreatif. Caranya dengan memanfaatkan media yang menarik, guru dapat membangkitkan minat belajar peserta didik, menciptakan suasana yang menyenangkan, dan mempermudah peserta didik dalam memahami serta menyerap materi pelajaran (Hidayati dkk., 2012). Guru perlu terbiasa menggunakan alat praktikum yang mampu menarik perhatian peserta didik, karena hal ini menjadi salah satu aspek penting dalam pembelajaran. Di sisi lain, keberhasilan peserta didik juga sangat dipengaruhi oleh lingkungan belajar serta ketersediaan fasilitas yang ada di sekolah (Jamiana, 2012). Media pembelajaran memiliki keterkaitan yang erat dengan proses berpikir, karena melalui media, hal-hal yang abstrak dapat disajikan secara konkret.

Pada pembelajaran IPA, peserta didik tidak hanya dituntut untuk memahami konsep-konsep dasar, tetapi juga untuk mengembangkan keterampilan berpikir kreatif dan berpikir sistem dalam menghadapi berbagai persoalan, termasuk permasalahan sosial yang terjadi di masyarakat. Pembelajaran praktis memiliki peran penting dalam membantu peserta didik menghubungkan teori dengan praktik, sekaligus mengaitkan pengetahuan tersebut dengan kehidupan sehari-hari. Melalui kegiatan praktis, rasa ingin tahu peserta didik terhadap hal-hal baru dapat

terpicu. Tanpa rasa ingin tahu, kreativitas tidak akan muncul, karena rasa ingin tahu inilah yang mendorong kita untuk mengeksplorasi dunia dengan antusias, menghadapi tantangan, dan menciptakan sesuatu yang orisinal sebagai kontribusi kita terhadap dunia yang ada (Freire, 1997). Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam dunia pendidikan berkembang dengan sangat pesat, sehingga guru dan peserta didik perlu memiliki wawasan yang luas untuk mengimbangi perkembangan tersebut (Diergarten dkk., 2017). Kegiatan seperti praktikum, observasi, dan eksperimen menjadi bagian yang wajib dalam proses pembelajaran (Angreni & Azkiya, 2018). Media pembelajaran berperan sebagai sarana komunikasi dan dapat dikelompokkan ke dalam berbagai jenis, seperti teks, audio, visual, video, perangkat teknis, hingga peran manusia, yang semuanya memiliki kontribusi penting dalam proses pembelajaran. Peserta didik dapat belajar melalui guru, teman sebaya, maupun orang dewasa di sekitarnya (Smaldino dkk., 2011). Dalam pembelajaran, media pendidikan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi efektivitas pembelajaran. Salah satu bentuk media tersebut adalah alat praktikum, yang berfungsi untuk merepresentasikan fenomena atau peristiwa alam yang sedang dipelajari (Daryanto, 2014). Dalam pembelajaran IPA, penguasaan materi oleh guru saja tidak cukup. Guru juga harus terampil dalam menggunakan alat praktikum fisik, seperti alat-alat ukur dan Kotak Instrumen Terpadu (KIT), agar materi yang disampaikan dapat lebih mudah dipahami oleh peserta didik.

Penggunaan alat dalam pembelajaran didukung oleh teori perkembangan kognitif anak usia sekolah menengah yang berada pada tahap operasional konkret. Selain itu, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI juga merekomendasikan penggunaan perangkat pembelajaran, seperti yang tercantum dalam buku guru IPA kelas 8 SMP. Buku tersebut menjelaskan bahwa pembelajaran IPA memiliki ciri khas yang memerlukan berbagai alat dan bahan, terutama untuk mendukung kegiatan observasi. Alat-alat ini diperlukan karena keterbatasan keterampilan manusia dalam mengamati secara langsung, terutama untuk materi abstrak seperti sistem pencernaan manusia, listrik, pencemaran lingkungan, dan topik lainnya (Baiq dkk., 2015).

Pengamatan yang hanya menggunakan indera sering kali menghasilkan data yang kurang objektif, sedangkan sains menekankan pada prinsip objektivitas. Oleh karena itu, alat praktikum digunakan untuk mendemonstrasikan, menampilkan, atau memverifikasi konsep serta fenomena yang sedang dipelajari. Penggunaan perangkat pembelajaran ini diharapkan dapat mengurangi kesulitan peserta didik dalam memahami materi, sekaligus membantu guru menyampaikan konsep-konsep IPA dengan lebih bermakna. Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih efektif dan mampu meningkatkan pemahaman peserta didik, sehingga tercipta proses belajar yang berkualitas.

2.2 Keterampilan Berpikir Sistem

Berpikir sistem adalah salah satu keterampilan esensial di abad ke-21. Konsep ini menekankan pentingnya bagi peserta didik dan masyarakat untuk dapat memahami fenomena yang kompleks, keterkaitan antar entitas, serta struktur yang memengaruhi hubungan tersebut. Pendekatan ini bertujuan untuk membekali peserta didik dengan keterampilan berpikir tingkat tinggi, termasuk berpikir kritis, reflektif, dan logis atau kreatif, sehingga mereka dapat mengatasi permasalahan dunia nyata yang kompleks. Pendekatan berpikir sistem menggabungkan keterampilan berpikir peserta didik dengan teknik model dan matematika (York dkk., 2019).

Keterampilan berpikir sistem sangat penting karena dengan keterampilan ini, peserta didik dapat lebih mudah menghubungkan berbagai materi pembelajaran. Berpikir sistem juga berperan dalam membantu peserta didik memahami sistem kehidupan yang dinamis (Schuler dkk., 2017).

Keterampilan ini sangat diperlukan dalam dunia pendidikan, mengingat pengetahuan yang diajarkan di sekolah sering kali lebih berfokus pada fakta-fakta terpisah daripada keterkaitan sistemik dan proses yang berkembang dari waktu ke waktu. Meski telah diakui sebagai kompetensi penting, integrasi berpikir sistem dalam pendidikan masih terbatas, seperti yang juga ditemukan dalam penelitian Gilissen dkk. (2016). Keterampilan berpikir sistem menuntut pemahaman akan struktur berlapis dari berbagai konsep serta keterkaitan antara konsep-konsep tersebut (Gilberta, 2018). Selain itu, berpikir sistem adalah keterampilan untuk menyele-

saikan masalah dengan mempertimbangkan berbagai aspek dari sumber yang luas serta keterkaitan antara konsep-konsep dengan bidang ilmu lainnya. Zoller & Nahum (2012) menyatakan bahwa berpikir sistem, dengan indikator- indikatornya, tergolong dalam *high order thinking skills* (HOTS) atau kete-rampilan berpikir tingkat tinggi. Keterampilan ini berkaitan erat dengan pe-ngetahuan konten yang spesifik pada domain tertentu, namun berfokus pada pengetahuan yang memiliki karakteristik sistematis dalam domain tersebut.

Berpikir sistem telah menjadi perhatian utama dalam penelitian ilmu pendidikan, pendidikan teknik, dan teknologi pendidikan. Namun, akhir-akhir ini pendekatan berpikir sistem juga diterapkan dalam berbagai disiplin ilmu seperti biologi, kimia, dan bahkan ilmu sosial (Purwati & Kusumawati, 2021). Dalam pembelajaran biologi, peserta didik didorong untuk memahami konsep-konsep kompleks yang saling terkait, khususnya dalam materi siklus dan sistem organ (Nuraeni dkk., 2020). Rosenkranzer dkk. (2017) mengemukakan bahwa berpikir sistem dapat dibagi menjadi dua dimensi: berpikir sistem struktural dan berpikir sistem prosedural. Berpikir sistem struktural mencakup keterampilan mengidentifikasi elemen-elemen dalam suatu sistem, memahami keterkaitan antar elemen, dan membangun kerangka sistem, yang berfokus pada analisis struktur dasar sistem tersebut. Pada penelitian ini indikator keterampilan berpikir menggunakan penelitian dari Ben dkk., (2010) yang kemudian di modifikasi oleh peneliti sesuai kebutuhan. Penjelasan lebih rinci ditampilkan dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Indikator keterampilan berpikir sistem

No	Hierarki Berpikir Sistem	Level
1	Mengidentifikasi komponen dan proses suatu sistem	A
2	Mengidentifikasi hubungan sederhana antarkomponen sistem	B1
3	Mengidentifikasi hubungan dinamis dalam sistem	B2
4	Mengorganisasikan komponen, proses, dan interaksi sistem dalam kerangka hubungan	B3
5	Mengidentifikasi siklus materi dan energi dalam sistem	B4
6	Mengenali dimensi tersembunyi dari sistem (yaitu : memahami fenomena melalui pola dan hubungan timbal balik yang tidak mudah terlihat)	C1
7	Membuat generalisasi tentang suatu sistem dan mengidentifikasi pola	C2
8	Berpikir secara temporal (retrospeksi dan prediksi)	C3

Sumber: diadopsi dari Ben,O, Assara, Z, dan Orion, N (2005).

Keterampilan untuk memahami sifat siklus sistem hanya muncul di Booth-Sweeney dan Sterman (2007). Karakteristik keenam, keterampilan untuk membuat generalisasi muncul di Booth-Sweeney dan Sterman (2007) dan Goldstone dan Wilensky (2008). Karakteristik ketujuh, memahami dimensi tersembunyi dari sistem, diidentifikasi oleh Hmelo-Silver dkk. (2000) dan Liu dan Hmelo-Silver (2009). Karakteristik kedelapan, berpikir temporal: retrospeksi dan prediksi diidentifikasi oleh Hmelo-Silver dkk. (2000), Wilensky dan Reisman (2006), dan Booth-Sweeney dan Sterman (2007). Kebaruan Ben-Zvi Assaraf dan Orion (2005) tidak terletak pada identifikasi delapan karakteristik tersebut, tetapi pada penataannya ke dalam model hierarkis model Pemikiran Sistem Hirarkis (STH) dari tahapan-tahapan yang dilalui pemikiran sistem.

Delapan karakteristik ini dapat disusun dalam urutan menaik ke dalam tiga level berurutan: (A) menganalisis komponen sistem (karakteristik 1); (B) mensintesis komponen sistem (2, 3, 4, 5); dan (C) implementasi (6, 7, 8). Setiap tingkat yang lebih rendah merupakan dasar untuk mengembangkan keterampilan berpikir tingkat berikutnya. Ini adalah model yang digunakan dalam penelitian ini untuk menilai pemahaman peserta didik tentang sistem ekologi. Masing-masing dari delapan karakteristik model STH muncul dalam literatur tentang pemikiran sistem. Misalnya, pada tingkat Analisis, objek karakteristik pertama (komponen sistem) diidentifikasi dalam model Struktur-Perilaku-Fungsi pemikiran sistem sebagai struktur yang merujuk pada elemen sistem di semua tingkat organisasi (Hmelo- Silver & Pfeffer, 2004).

Pada tingkat sintesis, karakteristik kedua dan ketiga (keterampilan untuk mengidentifikasi hubungan di antara komponen sistem) diidentifikasi dalam model SBF sebagai Perilaku, yang merujuk pada mekanisme yang memungkinkan struktur sistem mencapai hasil atau fungsinya. Dalam model STH, hubungan telah dibedakan menjadi 'sederhana' dan 'dinamis' untuk mencerminkan kesulitan peserta didik dalam memahami interaksi yang secara khusus melibatkan transformasi materi (molekul) dalam sistem. Hubungan ini disebut 'dinamis'. Misalnya, dalam kaitannya dengan pemahaman fotosintesis, hubungan dinamis mengacu pada transfer CO₂ dan O₂ antara tanaman dan atmosfer. Keterampilan untuk meng-

identifikasi hubungan dinamis diidentifikasi oleh Booth Sweeney dan Sterman (2007) dan Eilam (2012) sebagai komponen pemikiran sistem. Hubungan dinamis yang terjadi pada tingkat molekuler atau seluler disebut proses dinamis tak kasat mata (Duncan dan Reiser, 2007; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004; Verhoeff, Waarlo, & Boersma, 2008). Pada tingkat implementasi, karakteristik kedelapan (berpikir secara temporal: retrospeksi dan prediksi) diidentifikasi oleh Hmelo-Silver dan Pfeffer (2004), Wilensky dan Reisman (2006), dan Booth Sweeney dan Sterman (2007).

Prediksi, dalam kaitannya dengan fenomena temporal, mengacu pada keterampilan untuk memahami fenomena masa depan yang merupakan hasil dari proses dan interaksi yang sedang berlangsung saat ini. Model ini mengilustrasikan bahwa setelah proses pembelajaran, peningkatan keterampilan peserta didik akan mengikuti pola piramida. Pada tingkat dasar, sebagian besar peserta didik mampu mengembangkan keterampilan analisis sistem, termasuk mengenali komponen dan proses dalam sistem. Namun, seiring dengan peningkatan tingkat hierarki dalam model ini, jumlah peserta didik yang mampu mencapai keterampilan tingkat lanjut semakin berkurang. Prediksi lainnya adalah peserta didik yang mampu mencapai tingkat berpikir sistem yang lebih tinggi adalah mereka yang telah menguasai tingkat keterampilan yang lebih rendah. Sebagai contoh, seorang peserta didik yang belum mampu menganalisis sistem hingga komponennya (tingkat analisis) tidak akan dapat mencapai keterampilan berpikir temporal (tingkat implementasi) dalam memahami sistem.

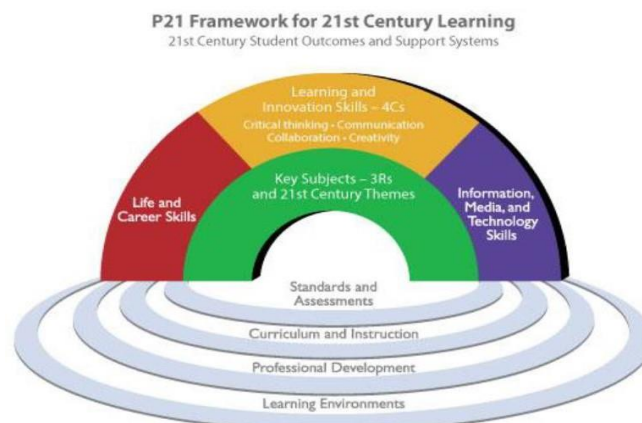
Pengembangan keterampilan berpikir sistem oleh peserta didik dikemukakan bahwa pemahaman tentang sistem yang kompleks merupakan bagian dari literasi ilmiah (Sabelli, 2006). Jika berpikir sistem merupakan alat untuk memahami sistem yang kompleks, penting untuk mengembangkan keterampilan berpikir sistem pada peserta didik. Berpikir sistem bukanlah cara “alami” bagi manusia untuk berpikir dan bahkan mungkin berlawanan dengan intuisi (Hmelo, 2000). Peserta didik cenderung berpikir tentang sistem dalam hal komponen statis yang terisolasi (Raia, 2005). Selain itu, mereka tidak memperhitungkan skala spasial atau temporal saat mempertimbangkan fenomena yang kompleks. Secara umum

keterampilan berpikir sistem diasumsikan bahwa lebih mudah dikembangkan pada peserta didik yang lebih dewasa, bahkan anak-anak kecil terbukti memiliki keterampilan untuk mengembangkan beberapa keterampilan berpikir sistem dengan instruksi yang dirancang dengan tepat (Orion, 2005). Pengembangan keterampilan berpikir sistem juga dapat dikaitkan dengan pengetahuan konten peserta didik, karena pengetahuan konten menyediakan konteks untuk berpikir sistem, serta motivasi untuk mengembangkan keterampilan berpikir sistem (Verhoeff, 2008).

2.3 Hubungan Berpikir Sistem dengan penggunaan Alat praktikum

Laboratorium merupakan fasilitas penting yang mendukung peserta didik dalam melaksanakan praktik proses sains (Hofstein & Lunetta, 2003). Melalui kegiatan di laboratorium, peserta didik dapat berinteraksi secara langsung dengan objek yang diteliti, baik melalui observasi langsung maupun percobaan. Dalam bimbingan pendidik, peserta didik melakukan praktik secara aktif, baik secara individu maupun kelompok, dengan melibatkan panca indera, pikiran, dan energi untuk memecahkan berbagai masalah yang dihadapi. Hasil analisis dari kegiatan tersebut kemudian didiskusikan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam.

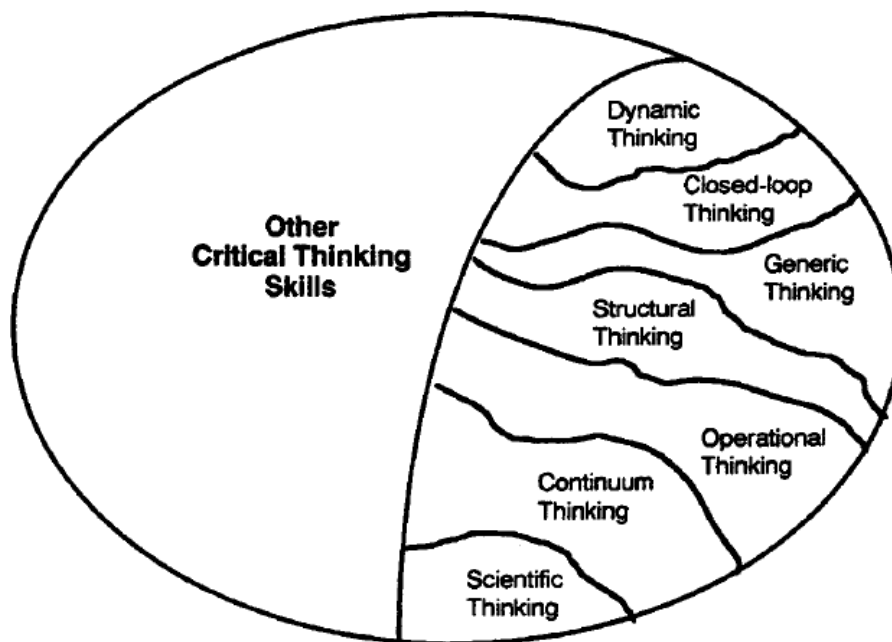
Berpikir sistem, yang merupakan bagian dari keterampilan berpikir kritis, didasarkan pada kerangka kompetensi abad ke-21 yang dikembangkan oleh *partnership for 21st Century Skills* (2015) seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. p21 framework

Selama tiga tahun terakhir lokakarya, diketahui bahwa berpikir sistem melibatkan setidaknya tujuh pola pikir yang harus dijalankan secara bersamaan. Hal ini tidak mudah, bahkan jika pola pikir tersebut sudah dikenal.

Kenyataannya, banyak yang belum terbiasa, sehingga seringkali menyebabkan beban kognitif yang berlebihan. Namun, ada beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi beban tersebut, yaitu: (1) memberi tahu peserta bahwa mereka akan diminta untuk berpikir menggunakan beberapa pola secara bersamaan; (2) menjelaskan pola tersebut dengan jelas; dan (3) mengatur kurikulum agar fokus pada pengembangan satu keterampilan berpikir pada satu waktu. Pendekatan ini membantu memasukkan tujuh pola berpikir sistem ke dalam konteks yang lebih luas, yang dalam pendidikan lebih cocok disebut sebagai keterampilan berpikir kritis.



Gambar 2. Keterampilan berpikir kritis : bagian berpikir sistem

Memahami sistem yang kompleks merupakan tantangan bagi peserta didik yang beralih dari penalaran sebab-akibat sederhana ke penalaran kompleks (Mambrey dkk., 2020). Berpikir sistem dianggap sebagai kapasitas berpikir tingkat tinggi, melibatkan ingatan mendasar terhadap data dan mencakup keterampilan seperti evaluasi dan kreativitas (Schuler dkk., 2018), selain itu juga menangani masalah-

masalah kompleks termasuk interaksi antara masalah ekologi, ekonomi, dan sosial budaya (Fanta dkk., 2020). Dengan demikian, integrasi kedua keterampilan ini tidak hanya melatih peserta didik untuk memahami permasalahan secara holistik, tetapi juga mempersiapkan mereka untuk memecahkan tantangan lingkungan di era globalisasi.

Pengembangkan sistem pendidikan secara koheren dalam tiga dimensi: proses pendidikan, paradigma berpikir, dan perangkat pembelajaran. Titik temu dari ketiga hal ini adalah proses pembelajaran yang diarahkan oleh peserta didik, di mana peserta didik akan menggunakan lingkungan belajar berbasis komputer untuk membangun intuisi dan pemahaman mereka tentang sistem yang saling bergantung dan kompleks dengan berpartisipasi dalam pengalaman realitas virtual. Pendekatan ini telah mengidentifikasi berbagai manfaat potensial dari penggunaan berpikir sistem dalam konteks pengajaran dan pembelajaran, dan banyak dari manfaat ini khususnya relevan untuk pendidikan STEM. Misalnya, pemikiran sistem diusulkan untuk dikaitkan erat dengan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Yael dkk., 2003) seperti berpikir kritis (Leah, 2008).

Berpikir sistem merupakan pendekatan berbasis penyelidikan yang berpusat pada peserta didik yang mencakup pengambilan perspektif, pemikiran holistik, dan pengujian keyakinan. Demikian, berpikir sistem sangat cocok untuk memfasilitasi proses integrasi interdisipliner. Berpikir sistem juga mendorong berpikir kritis karena mengharuskan peserta didik untuk memeriksa asumsi dan mendasarkan kesimpulan pada bukti. Sementara berpikir kritis merupakan metode penyelidikan yang penting di berbagai disiplin ilmu, bentuk yang diambil oleh berpikir kritis akan bervariasi menurut disiplin ilmu (Donald, 2002).

Keterampilan ini menjadi salah satu keterampilan utama yang perlu dikembangkan dalam era modern. Berpikir logis, memiliki lima jenis penalaran intelektual formal yang penting bagi peserta didik, yaitu berpikir proporsional, pengendalian variabel, probabilitas, korelasi, dan berpikir kombinasional (Tobin & Capie, 1978). Kelima jenis penalaran ini dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu berpikir konkret, berpikir transisional, dan berpikir formal. Peserta didik yang

memiliki keterampilan penalaran formal menunjukkan keterampilan berpikir logis yang baik. Praktikum IPA memiliki peran strategis dalam menyiapkan peserta didik untuk menghadapi tantangan era industrialisasi dan globalisasi. Peran ini akan efektif jika praktikum dirancang untuk membekali peserta didik dengan berbagai keterampilan, seperti berpikir logis, berpikir kritis, berpikir sistem, pemecahan masalah kreatif, penguasaan teknologi, serta keterampilan adaptasi terhadap perubahan zaman.

Keterampilan berpikir sistem menjadi alat bantu bagi proses ilmiah, khususnya dalam proses analisis dan sintesis (Boersma dkk., 2011). Pemberian keterampilan berpikir sistem dalam kegiatan praktikum IPA dapat dilakukan dengan mengaitkan topik-topik dalam pembelajaran praktikum IPA dengan permasalahan nyata dan memahami keterkaitan peserta didik dengan kompleksitas lingkungan di sekitarnya. Kompleksitas biologis ini dapat terwujud pada berbagai tingkat organisme hidup, dari tingkat molekuler hingga ekosistem (Boersma dkk., 2011).

Kegiatan praktikum IPA dalam perkuliahan yang kurang bervariasi menjadi salah satu faktor yang menghambat peserta didik untuk menganalisis materi secara mendalam dan memanfaatkan hasil belajarnya dalam memecahkan masalah kehidupan sehari-hari. Praktikum dengan pendekatan konvensional cenderung kurang mendukung pemahaman peserta didik terhadap konsep yang dipelajari dan kurang efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Sutarno, 2018). Keterbatasan informasi yang disediakan dalam kegiatan praktikum konvensional membuat peserta didik kesulitan untuk mengkonstruksi pengetahuan secara mandiri selama proses praktikum IPA berlangsung. Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis berminat untuk melakukan penelitian lapangan mengenai pelaksanaan praktikum IPA serta kaitannya dengan pengembangan keterampilan berpikir logis dan berpikir sistem pada peserta didik calon guru IPA.

2.4 Parameter Fisika

2.4.1 Pengertian parameter fisika

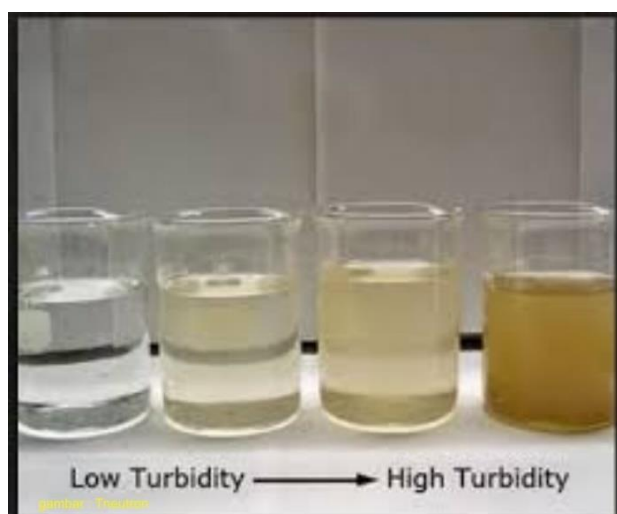
Parameter fisika adalah parameter kualitas air yang dapat dianalisis atau diamati berdasarkan karakteristik fisik dan visual. meliputi suhu, bau, warna, rasa, dan

kekeruhan (Isran,2023).

1. Sifat fisik

a. Warna

Warna merupakan indikator pencemaran yang ada pada pengukuran air. Warna air yang tidak sesuai dengan standar mutu tidak disarankan untuk dikonsumsi, standar mutu air ialah tidak berwarna. Warna air yang tidak standar biasanya sudah terkontaminasi oleh zat kimia maupun bakteri. Warna pada air diakibatkan oleh daya penguraian zat organik (lignin, tannin, humus, dan asam organik lainnya), warna hasil industri (kertas, tekstil, dan pewarna makanan), dan juga mikroorganisme (alga dan lumut). Umumnya warna kecoklatan atau kehitaman pada air disebabkan terkandungnya bahan anorganik seperti oksida dan besi. Warna kehijauan pada air biasanya karena kandungan kalsium bikarbonat yang berasal dari daerah berkapur. Sedangkan warna pada perairan dapat disebabkan dari blooming algae (peledakan fitoplankton). Pengukuran warna pada air menggunakan skala platinum kobalt (PtCo) dengan melakukan perbandingan air sampel dengan warna standar.



Gambar 3. Warna

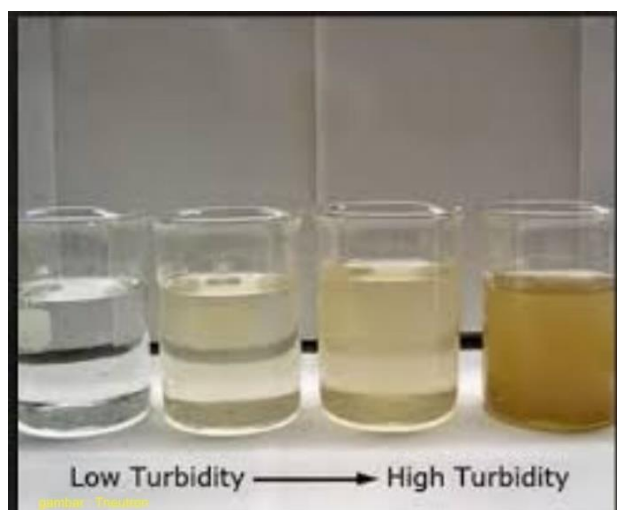
b. Bau atau aroma

Aroma atau bau biasanya disebabkan oleh hidrogen sulfida dan senyawa organik lainnya yang dihasilkan dari dekomposisi anaerob. Air yang berbau atau beraroma tidak disarankan untuk dikonsumsi, karena air yang berbau atau beraroma dapat dikatakan salah satu tanda terdapat gas beracun yang akan berbahaya bagi

kesehatan. Pengukuran air lindi dilakukan dengan metode organoleptik yaitu dengan indera penciuman.

c. Kekeruhan

Partikel suspensi yang terkandung didalam perairan biasanya mengakibatkan kekeruhan. Partikel suspensi yang dimaksud seperti lumpur, tanah liat, bakteri, bahan-bahan organik terlarut, plankton, dan organisme lainnya). Salah satu faktor sulitnya usaha penyaringan dan kurangnya efektivitas desinfeksi dalam penjernihan air yaitu tingginya nilai kekeruhan pada air. Tingginya nilai kekeruhan pada air juga dapat menghalang cahaya matahari untuk masuk kedalam air, dan dapat mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis(Rosyida,2016).



Gambar 4. kekeruhan

d. Suhu

Suhu adalah salah satu parameter air yang paling penting karena mempengaruhi komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Suhu air adalah parameter kualitas air yang kritis, karena secara langsung mempengaruhi jumlah oksigen terlarut yang tersedia untuk organisme air. Variasi suhu air mengatur kesetimbangan fisika-kimia (seperti nitrifikasi, mineralisasi bahan organik, dan lain-lain) di sungai (Utami, 2019).

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang, ketinggian dari permukaan

air, waktu dalam satu hari, sirkulasi udara, penutupan awan dan aliran serta kedalaman dari badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika dan kimia badan air. Suhu air secara tidak langsung akan mempengaruhi kelarutan oksigen dan secara langsung mempengaruhi proses kehidupan organisme seperti pertumbuhan dan reproduksi. Suhu perairan berperan mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Peningkatan suhu menyebabkan peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Kenaikan suhu dapat menyebabkan stratifikasi atau pelapisan air, stratifikasi atau pelapisan air ini dapat berpengaruh terhadap pengadukan air dan diperlukan dalam rangka penyebaran oksigen sehingga dengan adanya pelapisan air tersebut di lapisan dasar tidak menjadi anaerob. Perubahan suhu permukaan dapat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi di perairan tersebut (Hamuna *et al.*, 2018).

Tatangindatu dkk., (2013) mengatakan suhu mempunyai peranan penting dalam menentukan pertumbuhan biota yang ada di dalam perairan, kisaran yang baik untuk menunjang pertumbuhan optimal adalah 28–32 . Pola temperatur ekosistem air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas cahaya matahari, pertukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya, ketinggian geografis, dan juga faktor *canopy* (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh di tepi (Effendi dkk., 2013).



Gambar 5. Sensor suhu

2.4.2 Parameter Biologi

Parameter biologi merupakan indikator kualitas air yang dilihat dari keberadaan mikroorganisme di dalamnya. Mikroorganisme ini, terutama bakteri patogen, dapat menjadi ancaman bagi kesehatan manusia. Dari perspektif kesehatan

masyarakat, parameter biologi memiliki tingkat kepentingan yang setara dengan parameter kimia, karena air yang terkontaminasi dapat menjadi media penularan berbagai penyakit menular seperti tipus dan kolera.

Pemeriksaan mikroorganisme pada sampel air dilakukan dengan analisa mikrobiologi. Prinsip dasar analisa mikrobiologi adalah dengan menumbuhkan mikroba sampel air menggunakan media agar atau kaldu yang mengandung nutrien untuk pertumbuhan mikroba. Media kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu tertentu hingga beberapa waktu hingga diperoleh koloni bakteri yang muncul pada permukaan media agar di cawan petri. Terdapat beberapa jenis metode analisa mikrobiologi yang spesifik untuk mikroba spesies tertentu. Contohnya untuk Analisa bakteri total digunakan metode Total Plate Count, sedangkan untuk bakteri E.Coli tinja digunakan metode filter membran dan tabung fermentasi (Alaerts and Santika, 1984). Disamping itu, untuk bakteri koliform dapat dianalisa dengan metode filter membran, most probable number (MPN), dan Coli Count (Weiner and Matthews, 2003).

2.4.3 Parameter Kimia

1. Pengertian Parameter Kimia

Parameter kimia merupakan senyawa organik maupun anorganik yang bersifat kimia. Limbah yang memungkinkan untuk membusuk atau tergradasi oleh mikroorganisme ialah merupakan bahan pencemar kimia. Bakteri aerob dapat mudah memecahkan bahan organik tanpa mengganggu kadar oksigen terlarut jika jumlah bahan organik di dalam air sedikit. Dan sebaliknya apabila jumlah bahan organik didalam air banyak, maka akan mengakibatkan penurunan tingkat oksigen terlarut di dalam air (Tresna,2000). Senyawa organik meliputi pH, alkalinitas, kesadahan, TDS (*Total Dissolved Solid*), oksigen terlarut, BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), logam berat (besi, mangan, timbal, raksa, krom, tembaga, dan lain sebagainya) (Isran,2023).

2. Parameter kimia anorganik kualitas air

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biologis adalah

jumlah oksigen yang dibutuhkan organisme hidup di dalam air lingkungan untuk memecah (mendegradasi/mengoksidasi) bahan buangan organik yang ada di dalam air lingkungan tersebut. Penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan adalah proses alamiah yang mudah terjadi apabila air lingkungan mengandung oksigen yang cukup. Semakin tinggi nilai BOD menunjukkan semakin tingginya aktivitas organisme untuk menguraikan bahan organik atau dapat dikatakan semakin besarnya kandungan bahan organik di suatu perairan tersebut. Oleh karena itu, tingginya kadar BOD dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut suatu perairan. Apabila kandungan oksigen terlarut di dalam air lingkungan menurun, maka keterampilan bakteri aerobik untuk memecah bahan buangan organik juga menurun. Apabila oksigen yang terlarut sudah habis, maka bakteri aerobik dapat mati. Pada keadaan seperti ini bakteri anaerobik akan menganbil alih tugas untuk memecah bahan buangan organik yang ada di dalam air lingkungan. Hasil pemecahan oleh bakteri Anaerobik menghasilkan bau yang tidak enak misalnya anyir (Yoga, 2007).

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oksigen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dari BOD karena banyak bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dapat teroksidasi. Persamaan yang digunakan dalam uji COD yaitu: $\text{Organik} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{-2} + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{Cr}^{3+}$. Dalam hal ini bahan buangan organik akan dioksidasi oleh Kalium bikromat atau $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ menjadi gas CO_2 dan H_2O serta jumlah ion kromium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen. Warna larutan air lingkungan yang mengandung bahan buangan organik sebelum reaksi oksidasi adalah kuning.

Setelah reaksi oksidasi selesai maka akan berubah menjadi hijau. Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi oksidasi terhadap barang buangan organik sama dengan jumlah kalium bikromat. Makin banyak kalium bikromat yang dipakai pada reaksi oksidasi berarti makin banyak oksigen yang diperlukan. Ini berarti air lingkungan makin banyak tercemar oleh bahan buangan organik. Dengan demi-

kian maka seberapa jauh tingkat pencemaran air lingkungan dapat ditentukan dengan COD (wisnu, 2004).

c. *Dissolved Oxygen (DO)*

Dissolved Oxygen (DO) atau Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salimin, 2005). Dengan bertambahnya kedalaman akan terjadi penurunan kadar oksigen terlarut karena proses fotosintesis semakin berkurang dan kadar oksigen yang ada banyak digunakan untuk pernapasan serta oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik. Keperluan organisme terhadap oksigen bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktivitasnya. Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Oksigen terlarut (DO) dilaporkan sebagai miligram oksigen per liter air (mg/L) yang bisa disebut bagian berat per juta (ppm).

d. pH

Nilai pH atau tingkat keasaman pada air menyatakan jumlah ion H^+ yang terkandung dalam suatu sampel air. Ion H^+ banyak berperan pada berbagai reaksi kimia yang terjadi di lingkungan perairan dan mengindikasikan keseimbangan antara asam dan basa. Standar ideal pH air berada pada kisaran 6-8. Pengukuran pH air dapat dilakukan dengan menggunakan alat pH meter dan kertas pH. Pada umumnya, nilai pH dipersyaratkan pada standar baku mutu kualitas air, baik untuk air minum, air higienesantasi, pemandian umum, air limbah domestik, hingga limbah industri. Secara umum, nilai pH dipersyaratkan memenuhi kisaran 6-9. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Skala pH berkisar antara 1-14. Kisaran nilai pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral (Ningrum, 2018). Derajat keasaman

menunjukkan perlu atau tidaknya pengolahan pendahuluan (pretreatment) untuk mencegah terjadinya gangguan pada proses pengolahan limbah cair secara konvensional. Secara umum, dapat dikatakan bahwa pH limbah cair domestik adalah mendekati netral (Soeparman, 2002).

2.5 Indeks pencemaran

Indeks pencemaran merupakan salah satu metoda yang digunakan untuk menentukan status mutu air. Status mutu air menunjukkan tingkat kondisi mutu air sumber dengan membandingkan baku mutu yang telah ditetapkan (Sari & Wijaya.,2019). Indeks Pencemaran (IP) adalah salah satu metode analisis kualitas air yang diaplikasikan di Indonesia. Metode ini merupakan perhitungan relatif antara hasil pengamatan terhadap baku mutu yang berlaku. Sebagai metode indeks komposit, IP terdiri atas indeks rata-rata dan indeks maksimum. Indeks maksimum dapat memberikan indikator unsur kontaminan utama penyebab penurunan kualitas air. Unsur utama dapat dihubungkan dengan sumber pencemar, apakah dari domestik maupun non domestik (industri).

2.6 Sensor pH

Sensor pH adalah sebuah alat elektronik yang digunakan untuk mengukur pH kadar keasaman atau alkalinitas ataupun basa dari suatu larutan meskipun probe khusus terkadang digunakan untuk mengukur pH zat semi padat. Sensor pH yang biasa terdiri dari pengukuran probe pH elektroda gelas yang terhubung ke pengukuran pembacaan yang mengukur dan menampilkan pH yang terukur. Prinsip kerja dari alat ini yaitu semakin banyak elektroda pada sampel maka akan semakin bernilai asam begitupun sebaliknya, karena batang pada sensor pH berisi larutan elektrolit lemah (Palimbunga, 2017).



Gambar 6. Sensor pH

Alat ini dapat mengukur kualitas air dan parameter lainnya terjangkau. Hal ini juga Arduino kompatibel, terutama dirancang untuk Arduino pengendali untuk dengan mudah antarmuka sensor dengan konektor praktis. Hal ini akan memungkinkan untuk memperluas proyek Anda untuk bio-robotika. Ini memiliki LED yang bekerja sebagai Indikator Daya, konektor dan PH2.0 antar muka sensor BNC. Untuk menggunakannya, hanya menghubungkan sensor pH dengan konektor BND, dan plug antarmuka PH2.0 ke port input analog dari setiap Arduino kontroler. Jika pra-diprogram, Anda akan mendapatkan nilai pH dengan mudah (Sitorus & NurBaity, 2017).

Sensor pH banyak digunakan dalam analisis kimia kuantitatif. Probe pH mengukur pH seperti aktifitas ion-ion hidrogen yang mengelilingi bohlam kaca ber-dinding tipis pada ujungnya.(sekitar 0.06 volt per unit pH) yang diukur dan ditampilkan sebagai pembacaan nilai pH sifat asam mempunyai pH antara 0 hingga 7 dan sifat basa mempunyai nilai pH 7 hingga 14 (Sitorus & NurBaity, 2017). Untuk pengukuran yang sangat presisi dan tepat, sensor pH harus dikalibrasi setiap sebelum dan sesudah melakukan pengukuran. Untuk penggunaan normal kalibrasi harus dilakukan setiap hari. Alasan melakukan hal ini adalah probe kaca elektroda tidak diproduksi e.m.f. dalam jangka waktu lama. Kalibrasi harus dilakukan setidaknya dengan dua macam cairan standard buffer yang sesuai dengan rentang nilai pH yang akan diukur.

Penggunaan umum buffer pH 4 dan pH diperbolehkan. Sensor pH memiliki

pengontrol pertama (kalibrasi) untuk mengatur pembacaan pengukuran agar sama dengan nilai standard buffer pertama dan pengontrol kedua (slope) yang digunakan menyetel pembacaan meter sama dengan nilai buffer kedua. Pengontrol ketiga untuk men set temperatur (Sitorus & NurBaity, 2017).

Instrumen yang digunakan dalam sensor pH dapat bersifat analog maupun digital. Sebagaimana alat yang lain, untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik, maka diperlukan perawatan dan kalibrasi sensor pH. Pada penggunaan sensor pH, kalibrasi alat harus diperhatikan sebelum dilakukan pengukuran. Seperti diketahui prinsip utama sensor pH adalah pengukuran arus listrik yang tercatat pada sensor pH akibat suasana ionik di larutan. Stabilitas sensor harus selalu dijaga dan caranya adalah dengan kalibrasi alat. Kalibrasi terhadap sensor pH dilakukan dengan: Larutan buffer standar : pH = 4,01 ; 7,00 ; 10,0 (Sitorus & NurBaity, 2017).

2.5 *Liquid Crystal Display (LCD)*

LCD adalah kristal cair pada layar yang digunakan sebagai tampilan dengan memanfaatkan listrik untuk mengubah bentuk kristal-kristal cairnya sehingga membentuk tampilan angka dan atau huruf pada layer. Pada postingan aplikasi LCD yang digunakan ialah LCD dot matrix dengan jumlah karakter 16x2. LCD sangat berfungsi sebagai penampil yang nantinya akan digunakan untuk menampilkan status kerja alat (Widodo, Suleman, & Safudin, 2019).



Gambar 7. *Liquid Crystal Display*

LCD memanfaatkan silicon atau gallium dalam bentuk Kristal cair sebagai pemendar cahaya. Pada layar LCD, setiap matrik adalah susunan dua dimensi piksel yang dibagi dalam baris dan kolom. Dengan demikian, setiap pertemuan baris dan kolom adalah sebuah LED terdapat sebuah bidang latar (backplane), yang merupakan lempengan kaca bagian belakang dengan sisi dalam yang ditutupi oleh lapisan elektroda trasparan. Dalam keadaan normal, cairan yang digunakan memiliki warna cerah. Daerah-daerah tertentu pada cairan akan ber-ubah warnanya menjadi hitam ketika tegangan diterapkan antara bidang latar dan pola elektroda yang terdapat pada sisi dalam lempeng kaca bagian depan (Sitorus & NurBaity, 2017).

2.7 Arduino uno

Arduino Uno merupakan salah satu Arduino yang murah, mudah didapat, dan sering digunakan. Arduino Uno ini dibekali dengan mikrokontroler ATmega328p dan versi terakhir yang dibuat adalah versi R3. Modul ini sudah dilengkapi dengan berbagai hal yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler untuk bekerja (Junaidi & Prabowo, 2018) . Arduino Uno adalah nama keluarga papan mikrokontroler yang awalnya dibuat oleh perusahaan Smart Projects. Board Arduino Uno menggunakan mikrokon-troler ATmega328. Papan ini merupakan perangkat keras yang bersifat open source sehingga boleh dibuat oleh siapa saja. Arduino Uno dibuat dengan tujuan untuk memudahkan eksperimen atau perwujudan berbagai peralatan yang ber-basis mikrokontroler (Murakabiman dkk., 2019).



Gambar 8. Arduino uno

Mikrokontroler ATmega328 memiliki arsitektur Harvard, yaitu pemisah antara

memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dari mikrokontroler. Instruksi-instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program (Junaidi & Prabowo, 2018).

Konsep inilah yang memungkinkan instruksi dapat dieksekusi dalam setiap satu siklus clock. Sebanyak 32 x 8-bit register serba guna digunakan untuk mendukung operasi pada ALU (Arithmetic Logic Unit) yang dapat dilakukan dalam satu siklus. Sebanyak 6 dari register serbaguna ini dapat digunakan sebagai 3 buah register pointer 16-bit pada mode pengalamatan tidak langsung untuk mengambil data pada ruang memori data. Ketiga register pointer 16-bit ini disebut dengan register X (gabungan R26 dan R27), register Y (gabungan R28 dan R29), dan register Z (gabungan R30 dan R31). Hampir semua instruksi AVR memiliki format 16-bit. Setiap alamat memori program terdiri dari instruksi 16-bit atau 32-bit (Junaidi & Prabowo, 2018).

Selain register serba guna di atas, terdapat register lain yang terpetakan dengan teknik memory mapped I/O berukuran 64 byte. Beberapa register ini digunakan untuk fungsi khusus antara lain sebagai register control Timer/Counter, Interupsi, ADC, USART, SPI, EEPROM, dan fungsi I/O lainnya. Register – register ini menempati memori pada alamat 0x20h – 0x5Fh (Junaidi & Prabowo, 2018).

2.7 Prinsip Dasar Polarimeter

Polarimeter adalah perangkat untuk analisa yang didasari oleh pengukuran sudut putaran sinar monokromatis karena cahaya itu terpolarisasi linier oleh bahan bening yang bersifat optis aktif. Sinar monokromatis tersebut mempunyai sejumlah bidang getar yang banyak sekali. Adapun yang dimaksud cahaya terpolarisasi adalah cahaya yang mempunyai satu arah getar dan arah getar itu berada tegak lurus terhadap arah rambatnya. Bahan optis aktif merupakan bahan yang bila dijatuhkan cahaya maka bidang polarisasi dapat berputar. Zat yang memiliki sifat optis aktif ditandai dengan adanya kandungan atom karbon simetris atau susunan

atom C berupa kristal dan berada di dalam senyawa organik.

Contoh bahan optis aktif yang biasanya digunakan dalam eksperimen adalah larutan gula, dan terjadi pada beragam variasi konsentrasi. Cahaya dari lampu sumber, terpolarisasi setelah melewati prisma Nicol pertama yang disebut polarisator. Cahaya terpolarisasi kemudian melewati senyawa optis aktif yang akan memutar bidang cahaya terpolarisasi dengan arah tertentu. Prisma Nicol kedua yang disebut analisator akan membuat cahaya dapat melalui celah secara maksimum. Kemudian pengamat akan menerima cahaya setelah melalui analisator bergantung kepada jumlah senyawa dalam tabung sampel, panjang jalan/larutan yang dilalui cahaya, temperatur pengukuran, dan panjang gelombang cahaya yang digunakan.

Cara mengukur rotasi optik, diperlukan suatu besaran yang disebut rotasi spesifik yang diartikan suatu rotasi optik yang terjadi bila cahaya terpolarisasi melewati larutan dengan konsentrasi 1 gram per mililiter sepanjang 1 desimeter. Rotasi spesifik dapat dihitung dengan Rotasi optik yang termati dapat berupa rotasi yang searah jarum jam, rotasi ini disebut putar kanan dan diberi tanda (+), sedangkan senyawa yang diukurnya disebut senyawa dekstro (d). Rotasi yang berlawanan dengan arah jarum jam disebut putar kiri dan diberi tanda (-), senyawanya disebut senyawa levo (l).

2.8 Penelitian yang Relevan

Adapun penelitian yang relevan dengan penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Table 2. Penelitian yang relevan

No	Penulis	Judul	Hasil penelitian	Perbedaan
1.	Ria, A., dkk., 2023	<i>Developing system thinking skills through project-based learning loaded with education for sustainable development</i>	Keefektifan pembelajaran berbasis proyek yang dilengkapi dengan pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan (ESD) dalam mengembangkan keterampilan	Pengembangan alat praktikum pada topik pencemaran air ditinjau dari parameter fisika, kimia, biologi untuk melatih sistem thinking skills

Tabel 2. Lanjutan

No	Penulis	Judul	Hasil penelitian	Perbedaan
			berpikir sistem peserta didik dinyatakan sebagai moderat. peserta didik mengalami peningkatan yang signifikan dalam keterampilan berpikir sistem	
2.	Wan Izar & Nikolas, 2023	<i>System Thinking for Sustainable Water Management: The Use of System Tools in Sustainability Transitions</i>	mengidentifikasi dan mengkategorikan sejumlah alat sistem yang paling umum digunakan dalam manajemen air, termasuk Fuzzy Cognitive Mapping, keefektifan alat sangat terbatas karena tidak mengeksplorasi alat yang sesuai	Pengembangan alat praktikum ditinjau dari parameter fisika, kimia, biologi dapat meningkatkan keterampilan berpikir sistem
3.	Qianan Duan dkk, 2024	<i>Innovations of water pollution traceability technology with artificial intelligenc</i>	Keefektifan sistem pemantauan kualitas air yang terintegrasi dengan teknologi AI dan IoT dapat dilihat dari beberapa aspek seperti Peningkatan Akurasi Pemantauan: Dengan menggunakan sensor yang lebih canggih dan teknologi penginderaan jauh, sistem dapat memberikan data yang lebih akurat mengenai kondisi kualitas air.	Menggunakan sensor untuk memantau kualitas air

2.13 Kerangka Pemikiran

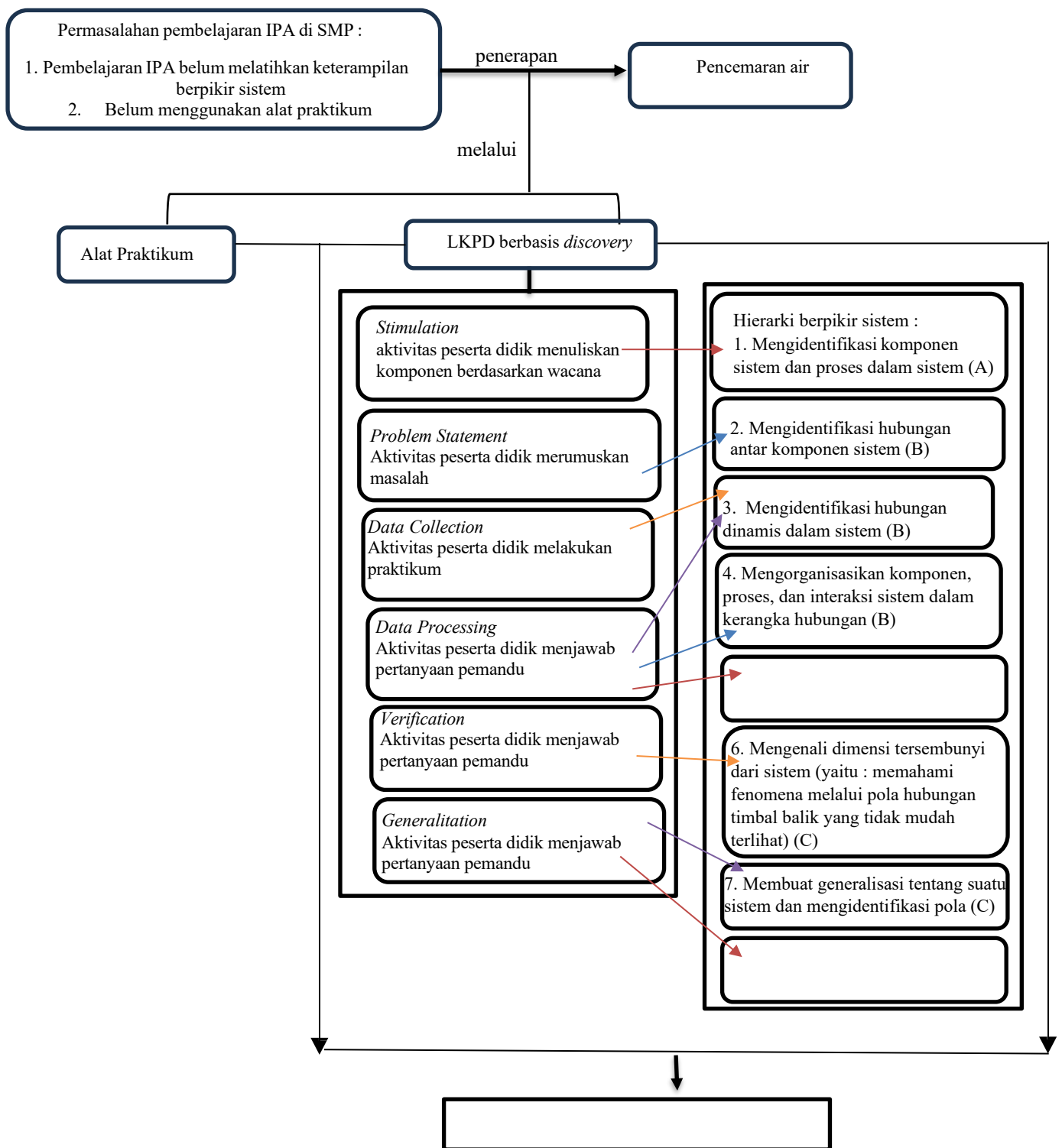
Peserta didik pada pembelajaran IPA, tidak hanya dituntut untuk memahami konsep- konsep dasar, tetapi juga untuk mengembangkan keterampilan berpikir

kreatif dan berpikir sistem dalam menghadapi berbagai persoalan, termasuk permasalahan sosial yang terjadi di masyarakat. Pembelajaran praktis memiliki peran penting dalam membantu peserta didik menghubungkan teori dengan praktik, sekaligus mengaitkan pengetahuan tersebut dengan kehidupan sehari-hari.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam dunia pendidikan berkembang dengan sangat pesat, sehingga guru dan peserta didik perlu memiliki wawasan yang luas untuk mengimbangi perkembangan tersebut. Kegiatan seperti praktikum, observasi, dan eksperimen menjadi bagian yang wajib dalam proses pembelajaran. Media pembelajaran berperan sebagai sarana komunikasi dan dapat dikelompokkan ke dalam berbagai jenis, seperti teks, audio, visual, video, perangkat teknis, hingga peran manusia, yang semuanya memiliki kontribusi penting dalam proses pembelajaran. Media pendidikan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi efektivitas pembelajaran. Salah satu bentuk media adalah alat praktikum, yang berfungsi untuk merepresentasikan fenomena atau peristiwa alam yang sedang dipelajari. Laboratorium merupakan fasilitas penting yang mendukung peserta didik dalam melaksanakan praktik proses sains. Melalui kegiatan di laboratorium, peserta didik dapat berinteraksi secara langsung dengan objek yang diteliti, baik melalui observasi langsung maupun percobaan. Melalui bimbingan pendidik, peserta didik melakukan praktik secara aktif, baik secara individu maupun kelompok, dengan melibatkan panca indera, pikiran, dan energi untuk memecahkan berbagai masalah yang dihadapi. Hasil analisis dari kegiatan tersebut kemudian didiskusikan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam.

Berpikir sistem merupakan bagian dari keterampilan berpikir kritis, didasarkan pada kerangka kompetensi abad ke-21 yang dikembangkan oleh *Partnership for 21st Century Skills*. Pembelajaran abad ke-21 menekankan pentingnya keterampilan inovasi dan pembelajaran (*Learning and Innovation Skills*) yang mencakup berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas. Dalam konteks topik pencemaran air, berpikir kritis memainkan peran sentral dalam mengevaluasi data dan menemukan solusi, sedangkan berpikir sistem (*system thinking*) memungkinkan analisis hubungan antar parameter fisika, kimia,

dan biologi dalam suatu sistem pencemaran. Memahami sistem yang kompleks merupakan tantangan bagi peserta didik yang beralih dari penalaran sebab-akibat sederhana ke penalaran kompleks. Pemberian keterampilan berpikir sistem dalam kegiatan praktikum IPA dapat dilakukan dengan mengaitkan topik-topik dalam pembelajaran praktikum IPA dengan permasalahan nyata dan memahami keterkaitan peserta didik dengan kompleksitas lingkungan di sekitarnya. Skema kerangka pikir disajikan pada Gambar 9.

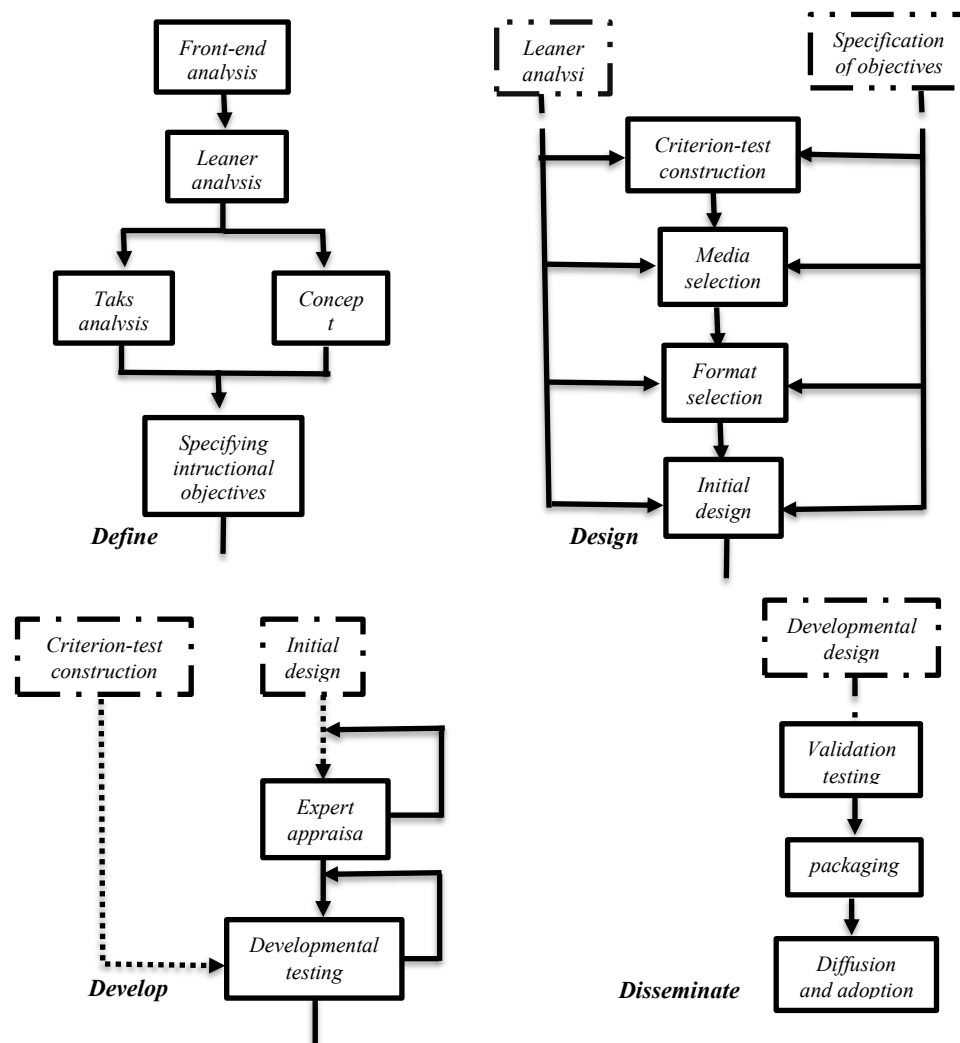


Gambar 9. Kerangka Pemikiran

III. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

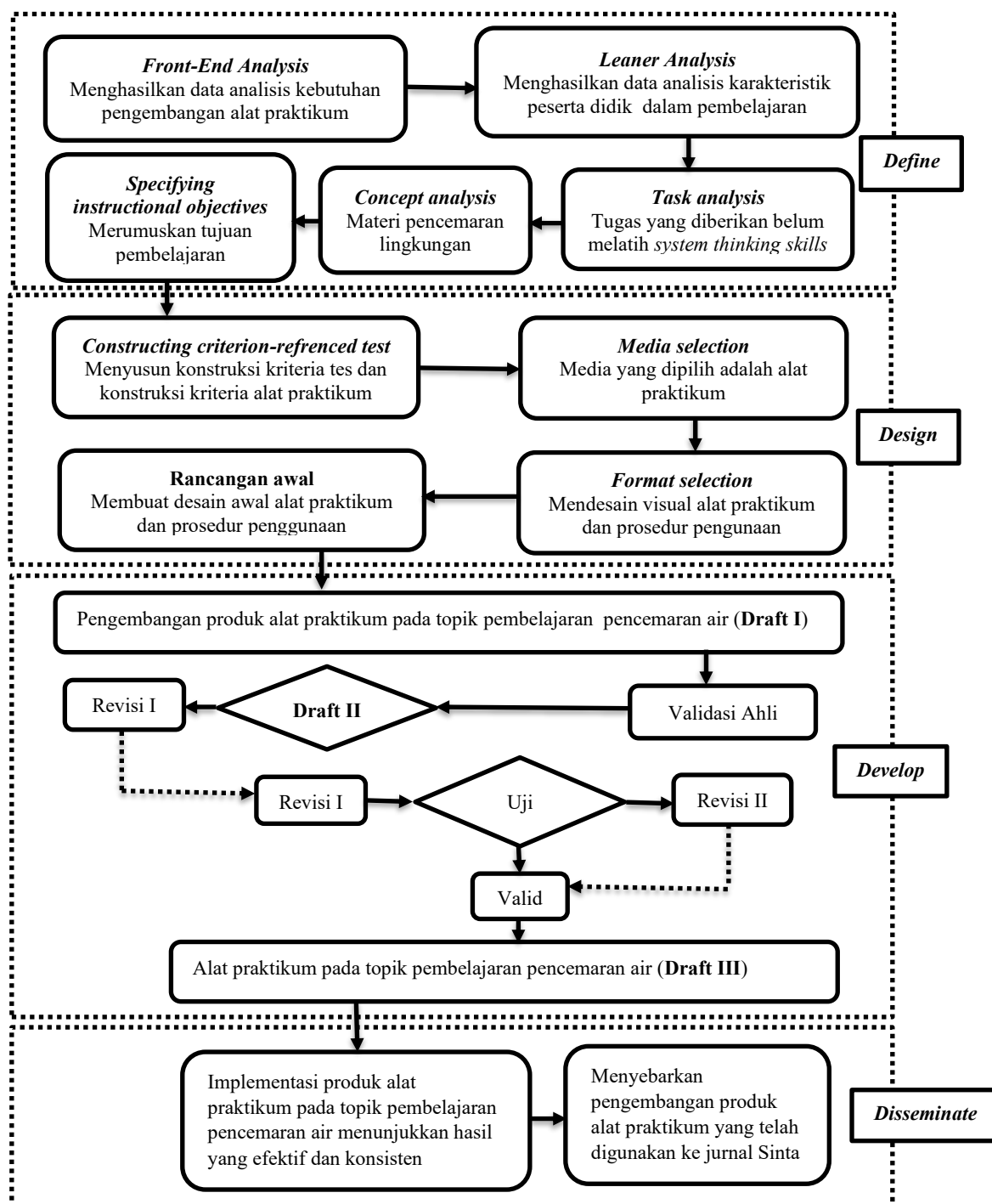
Penelitian ini dilakukan dengan metode penelitian *Research and Development* (R&D) yang mengacu pada model pengembangan 4D menurut Thiagarajan (1974). Model 4D terdiri dari empat tahapan yaitu *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Adapun produk yang dihasilkan dari penelitian dan pengembangan ini adalah alat praktikum pada pencemaran air. Alur pengembangan Thiagarajan (1974) model 4D dapat disajikan pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Desain pengembangan 4D menurut Thiagarajan (1974)

3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian dan pengembangan produk pada penelitian ini disajikan pada Gambar 11 sebagai berikut :



Gambar 11. Alur pengembangan alat praktikum pada topik pencemaran air

3.1 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

3.1.1 Tahap pendefinisian (*Define*)

Tahap pendefinisian telah dilakukan dengan tujuan dapat menentukan dan mendefinisikan kebutuhan-kebutuhan di dalam proses pembelajaran serta mengumpulkan berbagai informasi yang berkaitan dengan produk yang dikembangkan. Tahap pendefinisian dibagi atas beberapa langkah di antaranya dijabarkan sebagai berikut.

3.1.1.1 Analisis ujung-depan (*front-end analysis*)

Analisis ujung-depan telah dilakukan untuk memunculkan dan menetapkan masalah dasar yang dihadapi guru meliputi keterampilan berpikir sistem peserta didik dan penggunaan alat praktikum dalam pembelajaran IPA. Dengan analisis ini didapatkan gambaran fakta, harapan dan alternatif penyelesaian masalah sehingga memudahkan untuk menentukan langkah awal dalam pengembangan alat praktikum pada topik pencemaran air untuk melatih *system thinking skills*. Pada menetapkan masalah dasar, peneliti melakukan analisis kebutuhan dengan memberikan angket kepada guru IPA jenjang SMP tentang kebutuhan alat praktikum pada topik pencemaran air untuk melatih *system thinking skills*.

3.1.1.2 Analisis peserta didik

Analisis peserta didik telah dilakukan dengan tujuan untuk menggali informasi berupa permasalahan dalam pembelajaran IPA, yang meliputi penggunaan alat praktikum pada pembelajaran IPA. Analisis peserta didik dilakukan dengan menggunakan angket dengan media *google form* dibagikan kepada peserta didik.

3.1.1.3 Analisis tugas (*task analysis*)

Tahapan ini merupakan tahapan untuk menganalisis tugas-tugas yang dilakukan oleh peserta didik selama ini. Apakah tugas-tugas yang diberikan selama ini sudah melatih *system thinking skills* pada peserta didik atau belum. Berdasarkan data

hasil analisis kebutuhan pengembangan alat praktikum, didapatkan informasi bahwa tugas-tugas yang selama ini diberikan belum dapat melatih *system thinking skills* pada peserta didik, sehingga peneliti merasa perlunya pengembangan alat praktikum yang di dalamnya mengangkat permasalahan nyata yang ada di lingkungan sekitar mereka, yaitu pencemaran air sungai.

3.1.1.4 Analisis konsep (*concept analysis*)

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kompetensi dasar yang akan dicapai oleh peserta didik serta menganalisis materi yang terkait dengan permasalahan nyata yaitu pencemaran air sungai. Materi yang terkait dengan permasalahan tersebut adalah materi pencemaran lingkungan yang termuat pada capaian pembelajaran IPA.

3.1.1.5 Perumusan tujuan pembelajaran (*specifying instructional objectives*)

Pada tahap ini telah dilakukan perumusan hasil analisis tugas dan analisis konsep menjadi kriteria Ketuntasan Tujuan Pembelajaran (KKTP) yang selanjutnya dirumuskan menjadi tujuan pembelajaran. Hasil perumusan tujuan pembelajaran tersebut menjadi dasar dalam menyusun rancangan alat praktikum yang telah dikembangkan. Adapun komponen-komponen yang terdapat di dalam alat praktikum dan LKPD dapat melatih *system thinking skills* peserta didik menurut Ben-Zvi Assaraf dan Orion yang meliputi delapan hierarki antara lain : 1) mengidentifikasi komponen dan proses suatu sistem (level A); 2) mengidentifikasi hubungan sederhana diantara komponen sistem (level B); 3) mengidentifikasi hubungan dinamis dalam sistem (level B); 4) mengorganisasikan komponen sistem, proses dan interaksinya dalam kerangka hubungan (level B); 5) mengidentifikasi siklus materi dan energi dalam sistem (level B); 6) mengenali dimensi tersembunyi dari sistem (level C); 7) membuat generalisasi tentang suatu sistem dan mengidentifikasi pola (level C); 8) berpikir secara temporal (level C).

3.1.2 Tahap perancangan (*Design*)

Di tahap ini dilakukan perancangan alat praktikum. Adapun langkah-langkah pada tahap *design* ini menurut Thiagarajan (1974) adalah sebagai berikut :

3.1.2.1 Penyusunan kriteria konstruksi (*criterion-test construction*)

Pada tahap ini dilakukan analisis untuk konstruksi alat praktikum yang dikembangkan dan isi dari LKPD. Adapun konstruksi yang dibuat untuk alat praktikum dan LKPD ini didesain sesuai dengan hierarki berpikir sistem. Selain itu, alat praktikum dan LKPD juga dirancang untuk melatih keterampilan berpikir sistem peserta didik.

3.1.2.2 Pemilihan media (*media selection*)

Pemilihan alat praktikum yang telah dikembangkan dalam penelitian ini disesuaikan dengan karakteristik peserta didik dan kebutuhan materi pencemaran air, serta dirancang untuk mendukung proses pembelajaran yang melibatkan pengamatan parameter fisika, kimia, dan biologi. Alat ini bertujuan untuk membantu peserta didik dalam mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan melatih keterampilan berpikir sistem melalui pengalaman praktikum yang kontekstual.

3.1.2.3 Pemilihan format (*format selection*)

Pemilihan alat praktikum yang dikembangkan dalam penelitian ini disesuaikan dengan dengan mempertimbangkan karakteristik peserta didik dan kebutuhan pembelajaran kontekstual. Desain alat ini mengikuti indikator pencemaran air secara fisik, kimiawi, dan biologis yang bertujuan untuk melatih keterampilan berpikir sistem.

3.1.2.4 Rancangan Awal (*initial design*)

Rancangan awal pengembangan alat praktikum dimulai dengan identifikasi permasalahan pencemaran air di lingkungan sekitar. Permasalahan ini kemudian diperdalam melalui kajian pustaka untuk menentukan parameter pencemaran yang relevan dari aspek fisika, kimia, dan biologi. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan peserta didik melalui angket, yang menunjukkan perlunya media praktikum sederhana, kontekstual, dan mampu menghubungkan berbagai parameter pencemaran air dalam satu kesatuan sistem. Berdasarkan hasil tersebut, peneliti menyusun gambar desain visual alat sebagai acuan perakitan. Komponen

yang dipilih meliputi sensor pH, Arduino Mega, LCD, kabel penghubung, aquarium, lampu LED, dan lensa cembung. Pemilihan komponen ini mempertimbangkan keterkaitan antarparameter pencemaran. Sensor pH digunakan untuk mengukur aspek kimia, sedangkan LED dan lensa cembung dipakai untuk menguji tembus cahaya air. Uji cahaya ini tidak hanya merepresentasikan kejernihan (parameter fisika), tetapi juga secara tidak langsung mengukur parameter biologi, sebab keterampilan cahaya menembus air menjadi salah satu prasyarat terjadinya proses fotosintesis dalam ekosistem perairan. Setelah semua bahan terkumpul, dilakukan perakitan alat sesuai desain. Tahap selanjutnya adalah pemrograman sensor pH pada Arduino, sehingga hasil pengukuran pH dapat muncul secara otomatis di layar LCD. Pada saat yang sama, sistem uji cahaya dipasang pada aquarium sebagai wadah sampel air untuk mengamati sejauh mana intensitas cahaya dapat menembus. Rangkaian kegiatan ini menghasilkan Rancangan Awal (*Draft I*) alat praktikum pencemaran air, yang kemudian divalidasi sebelum digunakan dalam pembelajaran.

3.1.3 Tahap pengembangan (*develop*)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan produk pengembangan. Adapun langkah-langkah pada tahap *develop* adalah sebagai berikut:

3.1.3.1 Validasi produk alat praktikum oleh ahli (*expert appraisal*)

Setelah dilakukan pengembangan produk awal, langkah yang selanjutnya adalah validasi yang dilakukan oleh para validator ahli yang terdiri dari 2 dosen ahli IPA dari FKIP Universitas Lampung. Penilaian para ahli terhadap alat praktikum ini menggunakan video alat praktikum dan angket yang mencakup aspek kesesuaian isi dan kesesuaian konstruksi alat praktikum topik pencemaran air dan keterampilan berpikir sistem. Angket berisi pernyataan semi tertutup dengan pilihan jawaban respon positif dan respon negatif, dilengkapi dengan kolom tanggapan atau masukan untuk perbaikan. Kemudian alat praktikum direvisi mengikuti tanggapan dan masukan dari para ahli sehingga menghasilkan produk alat praktikum yang lebih baik. Draft LKPD dan video alat praktikum yang telah direvisi mengikuti saran dan masukan dari para ahli disebut sebagai Draft II.

3.1.3.2 Uji coba produk (*developmental testing*)

Tahap uji coba produk ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan serta menilai respons guru dan peserta didik terhadap penggunaannya. Sebelum implementasi alat praktikum, peserta didik diberikan soal pretes, dan setelah penggunaan alat dilakukan pengukuran dengan soal postes. Pada tahap ini, sebanyak dua orang guru IPA. Tanggapan diberikan melalui pengisian angket validasi yang mencakup respons positif atau negatif terhadap pernyataan yang tersedia. Uji coba produk ini dilaksanakan di SMP Negeri 2 Labuhan Ratu dengan teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling*. Desain penelitian yang digunakan pada tahap ini adalah *One-Group Pretest Posttest Design*.

Tabel 3. Desain Penelitian

Pretes	Perlakuan	Postes
O	X	O

Sumber: Fraenkel *et al.*, 2012

Keterangan :

O : pretes keterampilan berpikir sistem

X : perlakuan menggunakan alat praktikum

O : postes keterampilan berpikir sistem

Kemudian revisi dilakukan berdasarkan hasil respon guru yang meliputi aspek kesesuaian isi dan konstruksi. Draft alat praktikum dan LKPD yang direvisi berdasarkan hasil respon guru dan peserta didik disebut Draft III.

3.1.3.3 Instrumen *repertory grid*

Selain validasi dan tes pretes–postes, penelitian ini juga menggunakan instrumen *Repertory Grid* (RG) pada tahap pengembangan. Instrumen ini digunakan sebagai diagnostik awal untuk memetakan keterampilan berpikir sistem peserta didik terkait pencemaran air sebelum mengikuti praktikum dengan alat yang telah dikembangkan. Elemen yang dinilai terdiri atas industri, manusia, sampah, busa, warna, pH, bakteri, dan air sungai. Peserta didik memberikan skor 1–5 pada setiap elemen untuk setiap konstruk, dengan ketentuan skor 1 menunjukkan kutub kiri

dan skor 5 menunjukkan kutub kanan. Instrumen ini diberikan setelah pretest dan sebelum praktikum, sehingga hasilnya benar-benar merepresentasikan peta pemahaman awal peserta didik yang belum dipengaruhi intervensi

3.1.4 Tahap penyebaran (*Disseminate*)

Tahap *disseminate* bertujuan untuk menyebarluaskan produk yang telah dikembangkan supaya dapat dimanfaatkan oleh berbagai pihak yang membutuhkan. Adapun langkah-langkah pada tahap ini adalah sebagai berikut.

3.1.4.1 *Validation testing*

Pada tahap ini produk alat praktikum yang sudah direvisi pada tahap pengembangan diimplementasikan pada target atau sasaran yang sesungguhnya. Pada tahap ini juga dilakukan pengukuran ketercapaian tujuan untuk mengetahui efektivitas produk alat praktikum yang dikembangkan.

3.1.4.2 *Packaging, diffusion, dan adoption*

Pada tahap ini produk alat praktikum pada topik pembelajaran pencemaran air yang telah diimplementasikan disebarluaskan agar dapat diserap atau dipahami oleh para guru dan dapat digunakan dalam pembelajaran.

3.2 Subyek dan Lokasi Penelitian

Subyek penelitian pengembangan yaitu alat praktikum pada topik pencemaran air untuk melatih *system thinking skills*. Subyek untuk uji coba produk adalah peserta didik kelas VII SMP Negeri 2 Labuhan Ratu. Kelas ini dipilih dengan teknik *purposive sampling*.

3.3 Sumber Data

Sumber data pada penelitian ini terdiri atas dua sumber data, yaitu sumber data Pada tahap pendefinisian (*define*) dan pada tahap pengembangan (*develop*). Pada tahap pendefinisian (*define*), sumber data diperoleh dari analisis ujung depan, yaitu untuk mengetahui kebutuhan sekolah akan alat praktikum pada topik pencemaran air, sumber data yang digunakan adalah 18 guru mata pelajaran IPA dan 37 peserta didik yang berasal dari SMP Negeri di Kabupaten Lampung

Timur. Pada tahap pengembangan (*develop*) sumber data berasal dari 2 dosen FKIP Universitas Lampung. Pada tahap uji coba produk, yaitu untuk mengetahui respon guru terhadap produk alat praktikum pada topik pencemaran air, yang akan menjadi sumber data adalah 3 guru IPA. Selanjutnya pada tahap *validation testing* dalam tahap *disseminate*, yang akan menjadi sumber data peserta didik dikelas VII 1 SMP Negeri 2 Labuhan Ratu untuk mengimplementasikan produk yang telah melewati tahap pengembangan untuk mengukur ketercapaian tujuan dan mengetahui efektivitas produk pengembangan alat praktikum yang dikembangkan.

3.4 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah instrumen pada tahap *define*, dan *define*. Adapun penjelasan instrumen-instrumen tersebut adalah sebagai berikut:

3.4.1 Instrumen pada tahap *define*

Instrumen yang digunakan pada tahap *define* meliputi:

3.4.1.1 Angket analisis kebutuhan alat praktikum menurut guru

Angket analisis kebutuhan alat praktikum pencemaran air menurut guru disusun untuk memperoleh data faktual di lapangan mengenai pemahaman guru terkait pembelajaran kontekstual berbasis lingkungan, keterampilan berpikir sistem peserta didik SMP, penggunaan media praktikum yang biasa digunakan, serta kebutuhan akan alat praktikum yang mendukung pengamatan pencemaran air berdasarkan parameter fisika, kimia, dan biologi. Angket analisis kebutuhan ini dirancang menggunakan skala Guttman dengan pilihan jawaban “Ya” dan “Tidak” yang diberi skor “1” dan “0”, disertai kolom alasan untuk menjelaskan dasar pemilihan jawaban yang diberikan oleh responden.

3.4.1.2 Angket analisis kebutuhan alat praktikum menurut peserta didik

Angket analisis kebutuhan alat praktikum pencemaran air menurut peserta didik disusun untuk mengetahui pengalaman serta karakteristik media praktikum yang biasa mereka gunakan di sekolah, khususnya yang berkaitan dengan topik pencemaran air. Angket ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan peserta didik terhadap alat yang dapat mem-fasilitasi pengamatan parameter pencemar air

dan mendukung keterampilan berpikir sistem. Instrumen disusun dalam bentuk pertanyaan dengan skala Guttman yang memiliki pilihan jawaban “Ya” dan “Tidak” dengan skor masing-masing “1” dan “0”, serta dilengkapi dengan kolom alasan yang menjelaskan dasar pemilihan jawaban tersebut oleh peserta didik .

3.4.2 Instrumen pada tahap *develop*

Instrumen yang digunakan pada tahap *develop* meliputi:

3.4.2.1 Angket validasi

Instrumen yang digunakan untuk validasi ahli Instrumen yang digunakan untuk validasi ahli meliputi validasi aspek kemenarikan, aspek konstruksi, dan aspek keberfungsian dari alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat yang dirancang telah sesuai dengan karakteristik materi pencemaran air, indikator pembelajaran, serta mendukung pengembangan keterampilan berpikir sistem. Angket validasi disusun dalam bentuk pernyataan semi tertutup yang memungkinkan ahli memberikan penilaian dan dilengkapi ruang komentar untuk memberikan masukan kualitatif terhadap setiap aspek yang dinilai.

a. Angket validasi aspek kemenarikan

Angket validasi ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana alat praktikum yang telah dikembangkan menarik minat peserta didik untuk melakukan praktikum, baik dari segi tampilan fisik alat, penyajian visual, maupun kemudahan pemahaman penggunaannya. Penilaian dilakukan untuk memastikan bahwa alat mampu menciptakan pengalaman belajar yang menyenangkan dan memotivasi peserta didik dalam proses pengamatan. Angket validasi aspek kemenarikan menggunakan skala Likert 4 yang memiliki pilihan jawaban: “Sangat Sesuai (SS)” dengan skor 4, “Sesuai (S)” dengan skor 3, “Kurang Sesuai (KS)” dengan skor 2, dan “Tidak Sesuai (TS)” dengan skor 1. Angket ini juga dilengkapi dengan kolom saran, yang mana validator dapat menuliskan masukan pada kolom yang tersedia untuk perbaikan produk.

b. Angket validasi aspek konstruksi

Angket ini digunakan untuk mengetahui apakah konstruksi alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan sudah sesuai dengan langkah-langkah kegiatan praktikum dan memiliki struktur yang baik. Selain itu, angket ini juga digunakan untuk menilai apakah alat tersebut sudah dapat melatih keterampilan berpikir sistem kepada peserta didik. Angket ini menggunakan skala Likert 4 dengan kategori penilaian sebagai berikut: “Sangat Sesuai” (skor 4), “Sesuai” (skor 3), “Kurang Sesuai” (skor 2), dan “Tidak Sesuai” (skor 1). Angket juga dilengkapi dengan kolom saran agar validator dapat memberikan masukan yang bermanfaat untuk penyempurnaan produk.

3.4.2.2 Instrumen pada uji coba produk

a. Angket respon guru

Instrumen ini berbentuk angket yang di dalamnya terdapat pernyataan-pernyataan yang dimaksudkan untuk menilai aspek kemenarikan, keberfungsian alat dan konstruksi dari alat praktikum. Angket respon guru untuk menilai kemenarikan, konstruksi dan keberfungsian alat menggunakan skala Likert 4 yang memiliki pilihan jawaban “Sangat Sesuai (SS)” dengan skor “4”, “Sesuai (S)” dengan skor “3”, “Kurang Sesuai (KS)” dengan skor “2” dan “Tidak Sesuai (TS)” dengan skor “1”. Angket ini dilengkapi dengan kolom saran, yang mana guru dapat menuliskan saran pada kolom yang tersedia yang berguna untuk perbaikan produk.

b. Angket respon peserta didik

Instrumen ini berbentuk angket yang didalamnya terdapat pernyataan-pernyataan yang dimaksudkan untuk mengetahui respon positif dan respon negatif peserta didik dalam menggunakan alat praktikum pada topik pencemaran air untuk melatih berpikir sistem. Angket respon peserta didik menggunakan skala Guttman yang memiliki pilihan jawaban “Ya” dengan skor “1” dan “Tidak” dengan skor “0”. Angket ini dilengkapi dengan alasan yang dapat diberikan oleh peserta didik terkait penggunaan alat praktikum.

c. Tes keterampilan berpikir sistem

Instrumen ini berupa soal pretes dan postes untuk mengukur kete-rampilan berpikir sistem peserta didik . Supaya data yang diperoleh dapat dipercaya, maka instrumen yang digunakan harus valid dan bersifat reliabel. Karena itu, perlu dilakukan pengujian dengan SPSS *for windows* versi 27.0 terhadap instrumen yang akan digunakan.

d. Instrumen *Repertory Grid*

Instrumen ini berupa *Repertory Grid* yang digunakan sebagai diagnostik awal keterampilan berpikir sistem peserta didik. Instrumen ini berfungsi untuk memetakan sejauh mana peserta didik mampu mengenali hubungan antar komponen pencemaran air sebelum melaksanakan praktikum dengan alat yang dikembangkan. Bentuk instrumen berupa tabel berisi delapan konstruk dan delapan elemen pencemaran air, di mana peserta didik diminta memberikan skor pada skala 1–5 sesuai dengan kecenderungan kutub konstruk. Melalui instrumen ini guru akan dapat memahami pemahaman awal peserta didik terkait pencemaran air berdasarkan konstruk yaitu cara mereka membedakan, membandingkan, dan mengelompokkan hal-hal berdasarkan pengalaman mereka sendiri. Instrumen *repertory grid* memungkinkan peneliti untuk menggali pola berpikir seseorang secara sistematis. Instrumen *repertoy grid* ini bersifat non-tes dan digunakan untuk menggali pemahaman awal, maka tidak dilakukan uji validitas dan reliabilitas dengan perangkat lunak statistik, melainkan melalui validasi ahli guna memastikan kesesuaian konstruk dan keterpahaman instrumen bagi peserta didik.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan angket, tes, dan *repertory grid*. Pada penelitian ini, penyebaran angket analisis ujung-depan dan angket analisis peserta didik dilakukan pada tahap *define* dengan tujuan untuk mengetahui kebutuhan alat praktikum pada topik pencemaran air di sekolah menurut guru dan peserta didik. Angket guru disebarakan via *whatsapp* dalam bentuk *google form* dan angket peserta didik disebarakan via *whatsapp* dalam bentuk *google form* dengan dibantu guru IPA. Pemberian angket juga akan

dilakukan pada tahap *develope*, dimana angket yang diberikan adalah angket validasi alat praktikum oleh ahli dan angket respon guru terhadap kesesuaian kemenarikan, konstruksi, dan keberfungsian dari alat praktikum pencemaran air.

Aspek kepraktisan diukur menggunakan angket respon guru dan respon peserta didik. Pada tahap uji coba produk, peneliti meminta guru untuk mengamati video keberfungsian alat praktikum dan mengisi angket keterlaksanaan pembelajaran. Guru dan peserta didik guru atau observer akan menilai kesesuaian dari unsur-unsur model pembelajaran, seperti sintaks dan berpikir sistem. Sistaks pembelajaran dan hierarki yang diamati apakah sesuai dengan langkah-langkah dari pembelajaran menggunakan alat praktikum. Selanjutnya pada tahap pengisian angket respon peserta didik, pengumpulan data dilakukan setelah peserta didik menggunakan produk alat praktikum.

Teknik pengumpulan data yang digunakan untuk mengetahui efektivitas dari alat praktikum yang telah dikembangkan yaitu dengan menggunakan tes. Tes yang diberikan berupa tes tertulis dengan soal pretes dan *posttest*. Pretes diberikan sebelum pelaksanaan pembelajaran dan *posttest* diberikan setelah pelaksanaan pembelajaran.

3.6 Teknik Analisis Data

3.6.1 Teknik analisis data pada tahap *define*

Pada tahap *define*, dilakukan analisis terhadap angket analisis awal dan angket analisis peserta didik yang dideskripsikan dalam bentuk persentase, kemudian data yang diperoleh diinterpretasikan secara kualitatif. Adapun kegiatan dalam teknik analisis data angket dilakukan dengan cara:

1. Mengklasifikasi data, yang bertujuan untuk mengelompokkan jawaban berdasarkan pertanyaan pada angket.
2. Melakukan tabulasi data berdasarkan klasifikasi yang dibuat, yang bertujuan untuk memberikan gambaran frekuensi dan kecenderungan dari setiap jawaban berdasarkan pertanyaan pada angket dan banyaknya sampel penelitian.

3. Menghitung frekuensi jawaban, yang berfungsi untuk memberikan informasi tentang kecenderungan jawaban yang banyak dipilih dalam setiap angket pertanyaan.
4. Menghitung persentase skor, yang bertujuan untuk melihat besarnya persentase setiap jawaban dari pertanyaan sehingga data yang diperoleh dapat dianalisis sebagai suatu temuan dalam penelitian. Perhitungan skor pada setiap item adalah sebagai berikut:

$$\% Jin = \frac{\sum Ji}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

$\% Jin$ = pesentase pilihan jawaban-i

$\sum Ji$ = jumlah responden yang menjawab jawaban-i

N = jumlah seluruh responden

5. Menjelaskan hasil penafsiran presentase jawaban responden dalam bentuk deskriptif naratif.

3.6.2 Teknik analisis data kevalidan

Teknik analisis data kevalidan terhadap produk alat praktikum yang akan dikembangkan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Mengelompokkan jawaban berdasarkan pertanyaan angket.
2. Memberikan skor pada jawaban responden. Skor yang digunakan di dalam angket menggunakan skala *Likert* 4 untuk angket validasi isi dan skala Guttman untuk angket validasi konstruksi.
3. Menghitung persentase jawaban angket pada setiap pertanyaan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% Xin = \frac{\sum S}{SMaks} \times 100\%$$

Keterangan :

$\% Xin$ = persentase jawaban responden pada angket

$\sum S$ = jumlah skor jawaban

$Smaks$ = skor maksimum yang diharapkan

4. Selanjutnya menghitung rata-rata presentase skor jawaban dari setiap angket untuk mengetahui tingkat kesesuaian isi, keberfungsian dan konstruk alat praktikum yang dikembangkan adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% Xi = \frac{\sum \%Xin}{n} \times 100\%$$

Keterangan :

$\%Xi$ = rata-rata presentase jumlah terhadap pertanyaan pada angket

$\sum \%Xin$ = jumlah presentase jawaban terhadap semua pernyataan pada angket

n = jumlah pernyataan angket

5. Menafsirkan kriteria analisis persentase validasi produk dari hasil validasi ahli menggunakan tafsiran dari (Arikunto, 2013) berdasarkan Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria presentase analisis validasi

Presentase	Tingkat kevalidan	Keterangan
76% - 100%	Valid	Layak/ tidak harus revisi
51% - 75%	Cukup valid	Cukup layak/ revisi sebagian
26% - 50%	Kurang valid	Kurang layak/ revisi sebagian
< 26%	Tidak valid	Tidak layak/ revisi total

3.6.3 Teknik analisis kepraktisan

Teknik analisis data kepraktisan meliputi analisis data angket respon guru, dan angket respon peserta didik. Analisis kepraktisan dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Mengelompokkan jawaban berdasarkan pertanyaan angket.
2. Memberikan skor pada jawaban responden. Skor yang digunakan di dalam angket menggunakan skala Likert 4 untuk angket respon guru terhadap uji keberfungsian alat dan skala Guttman untuk angket respon guru terhadap kemenarikan alat praktikum dan untuk angket respon peserta didik.
3. Menghitung persentase jawaban angket pada setiap pertanyaan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%Xin = \frac{\sum S}{S_{Maks}} \times 100\%$$

Keterangan :

$\%Xin$ = persentase jawaban responden pada angket

ΣS = jumlah skor jawaban

Smaks = skor maksimum yang diharapkan

Selanjutnya, untuk menghitung rata-rata persentase skor jawaban dari setiap angket guna mengetahui keterlaksanaan dan respon guru serta peserta didik terhadap alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan, digunakan rumus sebagai berikut:

$$\%Xi = \frac{\Sigma \%Xin}{n} \times 100\%$$

Keterangan :

$\%Xin$ = rata-rata presentase jumlah terhadap pernyataan pada angket

$\Sigma \%Xin$ = jumlah presentase jawaban terhadap semua pernyataan pada angket

n = jumlah pernyataan pada angket

4. Menafsirkan kriteria kepraktisan analisis persentase produk hasil tanggapan guru dan peserta didik dengan menggunakan tafsiran Arikunto (2013) sesuai dengan Tabel 5.

Tabel 5. Kriteria persentase analisis kepraktisan

Persentase	Tingkat kepraktisan	Keterangan
76%-100%	Praktis	Praktis/tidak harus revisi
51%-75%	Cukup praktis	Cukup praktis/revisi Sebagian
26%-50%	Kurang praktis	Kurang praktis/revisi Sebagian
<26%	Tidak praktis	Tidak praktis/revisi total

3.6.3.1 Keterlaksanaan pembelajaran menggunakan alat praktikum pencemaran air

Analisis keterlaksanaan pembelajaran menggunakan alat praktikum pencemaran air dilakukan dengan menghitung skor yang diberikan oleh observer untuk setiap aspek pengamatan. Kemudian menghitung ketercapaian keterlaksanaan dengan rumus: (Sudjana, 2005)

$$\%Ji = \frac{\Sigma Ji}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

$\%Ji$ = persentase pilihan jawaban ke-i

ΣJi = jumlah skor responden pada jawaban ke-i

N = skor maksimal

Setelah mendapatkan hasil presentase jawaban ke-I kemudian menentukan kriteria tingkat keterlaksanaan berdasarkan Arikunto (2010).

Tabel 6. Kriteria keterlaksanaan pembelajaran

Persentase keterlaksanaan	Kriteria
80,1% - 100%	Sangat tinggi
60,1% - 80%	Tinggi
40,1% - 60%	Sedang
20,1% - 40%	Rendah
0,00% - 20%	Rendah sekali

3.6.4 Teknik analisis data uji validitas dan reliabilitas soal pretes/postes

Uji validitas dan reliabilitas soal tes dilakukan sebelum soal digunakan untuk pretes dan postes. Uji validitas dilakukan untuk mengetahui kelayakan soal. Uji validitas pada penelitian ini dilakukan menggunakan dengan versi SPSS 27.0 *for windows* hasil yang didapatkan diinterpretasikan menggunakan tabel kriteria koefisien validitas yang tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria koefisien validitas

Koefisien validitas	Kriteria
$0,80 \leq r_{xy} \leq 1,00$	Sangat tinggi
$0,60 \leq r_{xy} \leq 0,80$	Tinggi
$0,40 \leq r_{xy} \leq 0,60$	Sedang
$0,20 \leq r_{xy} \leq 0,40$	Rendah
$0,00 \leq r_{xy} \leq 0,20$	Sangat rendah

Sumber: Arikunto, 2010

Selanjutnya, uji reliabilitas dilakukan untuk mengetahui tingkat kepercayaan instrumen tes. Pengujian ini dilakukan menggunakan rumus *Alpha Cronbach* yang kemudian diinterpretasikan dengan menggunakan derajat reliabilitas alat evaluasi menurut Arikunto (2013), dalam hal ini analisis dilakukan dengan menggunakan program SPSS 27.00 *for windows*.

Tabel 8. Kriteria koefisien reliabilitas

Koefisien realibilitas	Keterangan
$0,80 \leq r_{11} \leq 1,00$	Reliabilitas sangat tinggi
$0,60 \leq r_{11} \leq 0,80$	Reliabilitas tinggi
$0,40 \leq r_{11} \leq 0,60$	Reliabilitas sedang

Tabel 8. Lanjutan

Koefisien realibilitas	Keterangan
$0,20 \leq r_{11} \leq 0,40$	Reliabilitas rendah
$0,00 \leq r_{11} \leq 0,20$	Tidak reliabel

3.6.5 Teknik analisis data skor hasil pretes dan postes

Skor hasil pretes dan postes diubah menjadi nilai. Lalu nilai pretes dan postes digunakan untuk mencari *n-Gain* kelas eksperimen untuk mengetahui seberapa besar peningkatan keterampilan berpikir sistem peserta didik.

3.6.5.1 Perhitungan nilai peserta didik

Peningkatan keterampilan peserta didik meliputi peningkatan keterampilan faktual, konseptual, dan prosedural yang ditunjukkan oleh skor yang diperoleh peserta didik dalam tes pengetahuan peserta didik (pretes dan postes). Teknik penskoran nilai pretes dan postes yaitu:

$$\text{Nilai peserta didik} = \frac{\text{jumlah skor jawaban yang diperoleh}}{\text{jumlah skor maksimal}} \times 100$$

3.6.5.2 Menghitung *N-Gain*

Data nilai yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menghitung nilai *n-Gain* yang kemudian digunakan pengujian hipotesis. Nilai *n-Gain* yang didapat kemudian digunakan untuk mengetahui efektivitas pembelajaran menggunakan alat praktikum. Perhitungan nilai *n-Gain* dengan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Hake (2002) adalah sebagai berikut:

$$N - \text{gain} = \frac{\text{Nilai posttest} - \text{Nilai pretest}}{100 - \text{Nilai pretest}}$$

Perhitungan selanjutnya adalah menghitung rata-rata nilai *n-Gain* dengan rumus sebagai berikut :

$$< g > = \frac{\text{jumlah } n - \text{gain} \text{ peserta didik}}{\text{jumlah peserta didik}}$$

Hasil *gain* ternormalisasi (*N-Gain*) ini diinterpretasikan untuk menyatakan peningkatan keterampilan peserta didik dengan kriteria seperti disajikan pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Kategori *N-Gain*

Besarnya <i>N-Gain</i>	Kategori
$g \geq 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq g < 0,7$	Sedang
$G < 0,3$	Rendah

Sumber : Hake, 2002

3.7 Teknik pengujian hipotesis

Pengujian hipotesis menggunakan uji perbedaan dua rata-rata. Langkah-langkah pengujian hipotesis ada-lah uji normalitas, uji homogenitas, dan uji *paired sample t-test*.

3.7.1 Uji normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah sampel penelitian berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak, dan untuk menentukan uji yang akan digunakan selanjutnya, apakah menggunakan uji statistik parametrik atau non parametrik. Uji normalitas dilakukan dengan program SPSS versi 27.0 *for windows*.

Rumusan hipotesis untuk uji normalitas adalah sebagai berikut:

H_0 : sampel berasal dari populasi yang berdistribusi tidak normal

H_1 : sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal

Kriteria uji normalitas:

Jika $Z_{hitung} > Z_{tabel}$ atau nilai sig. $< 0,05$ maka H_0 diterima (data berdistribusi tidak normal).

3.7.2 Uji homogenitas

Uji homogenitas dilakukan guna untuk meyakinkan bahwa sampel memiliki varians yang homogen. Uji homogenitas menggunakan program *SPSS for windows* versi 27.0 yang dilakukan menggunakan uji *Levene Test* dengan taraf signifikansi 95% dan $(\alpha) = 0,05$. Pengujian diawali dengan memberikan hipotesis nilai signifikansi.

H_0 : Varian data homogen

H_1 : Varian data tidak homogen

Kriteria pengambilan keputusan didasarkan pada nilai signifikansi yang telah diperoleh. Apabila nilai signifikansi *asympt.Sig (2-tailed)* $> 0,05$ maka H_0 diterima dan data homogen.

3.7.3 Uji *paired sample t-test*

Paired sample t-test digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan rata-rata tes keterampilan berpikir sistem peserta didik sebelum dan sesudah diterapkan pembelajaran menggunakan alat praktikum pada topik pencemaran air. Uji *paired sample t-test* menggunakan program *SPSS for windows* versi 27.0.

$H_0: \mu_{\text{post}} < \mu_{\text{pre}}$: Rata-rata nilai postes keterampilan berpikir sistem peserta didik lebih rendah dari rata-rata nilai pretes keterampilan berpikir sistem peserta didik.

$H_1: \mu_{\text{post}} > \mu_{\text{pre}}$: Rata-rata nilai postes keterampilan berpikir sistem peserta didik lebih tinggi dari rata-rata nilai pretes keterampilan berpikir sistem peserta didik.

Kriteria pengambilan keputusan didasarkan pada nilai probabilitas yang telah diperoleh. Apabila nilai signifikansi $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Jika nilai signifikansi *sig* $< 0,05$ maka H_1 diterima dan H_0 ditolak.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat praktikum pencemaran air yang telah dikembangkan diintegrasikan kedalam LKPD dengan sintaks *discovery learning* sebagai panduan kegiatan. Setiap tahap sintaks diarahkan untuk melatih indikator pada delapan hierarki berpikir sistem, berdasarkan hasil validasi ahli terhadap aspek kesesuaian materi, konstruksi, dan keterbacaan, alat praktikum beserta LKPD pendukung memperoleh rata-rata persentase dengan kriteria “sangat tinggi” sehingga dinyatakan valid untuk digunakan dalam pembelajaran IPA.
2. Alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan dinyatakan efektif dalam melatih keterampilan berpikir sistem peserta didik. Hal ini ditunjukkan melalui hasil uji *paired sample t-test* yang memperlihatkan adanya perbedaan signifikan antara hasil pretest dan posttest. Selain itu, nilai rata-rata *n-Gain* yang diperoleh berada pada kategori “sedang”.
3. Alat praktikum pencemaran air yang dikembangkan memperoleh respon guru dan peserta didik diperoleh rata-rata persentase respon pada kategori “sangat positif”, yang menunjukkan bahwa alat praktikum dapat memotivasi peserta didik untuk lebih aktif dalam pengamatan dan analisis. Respon guru menyatakan bahwa alat praktikum membantu mengaktifkan peserta didik dalam kegiatan belajar serta meningkatkan pemahaman terhadap konsep pencemaran air yang dikaitkan dengan keterampilan berpikir sistem.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat praktikum pencemaran air yang akan dikembangkan selanjutnya memiliki desain minimalis dan berukuran kecil sehingga memudahkan untuk penggunaannya.
2. Pada pengembangan alat pencemaran air selanjutnya dapat menggunakan lampu berwarna putih hal ini dikarenakan lampu merah bisa mempengaruhi laju fotosintesis alga jika lampu dibiarkan menyala lama di air.
3. Pengembangan selanjutnya dapat menambah sensor lain yang dapat digunakan untuk melihat parameter lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Angreni, S., & Azkiya, H. 2018. Development of Practical Instructions for Media Integrated Instruments Components Science Natural Science Elementary School Approach Skin Process Approach. *International Journal of Recent Scientific Research Research*, vol 9, pp 27537-27540.
- Arends, R. I. 2018. *Learning to teach* (11th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Assaraf, O. B.-Z. 2005 Orion, N. Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. *J. Res. Sci. Teach*, 42, 518-560
- Baiq, E J., H Sahidu, NNSP Verawati. 2015. Implementation of Problem Based Learning Model Assisted by Teaching Aids to Improve Physics Activities and Learning Outcomes of Class VIII Students of SMPN 22 Mataram in 2014/2015. *Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 1(3), 185-192.
- Ben, O., Assara, Z, Orion, N. 2010. Four Case Studies, Six Years Later: Developing System Thinking Skills in Junior High School and Sustaining Them over Time. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol 47 (10), 1253–1280.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. 2005. Development of system thinking skills in the context of earth systems education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 518–560.
- Boersma, K., Waarlo, A. J., & Klaassen, K. 2011. The feasibility of systems thinking in biology education. *Journal of Biological Education*, 45(4), 190–197. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.627139>
- Booth-Sweeney, L., & Sterman, J.D. 2007. Thinking about systems: Student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics*
- Capra, F. 2019. *The systems view of life: A unifying vision*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Clark, S., Petersen, J. E., Frantz, C. M., Roose, D., Ginn, J., & Daneri, D. R. 2017. Teaching systems thinking to 4 th and 5 th graders using Environmental Dashboard display technology. *Journal of Plos One*, Vol 1 (2), 1–11.

- Daryanto. 2014. *Pendekatan Pembelajaran Saintifik Kurikulum 2013*. Yogyakarta: Gaya Media.
- Diergarten, A.K., Möckel, T., Nieding, G., and Ohler, P, The impact of media literacy on children's learning from films and hypermedia. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 2017 vol 48, pp 33–41.
- Dwiastuti, S., Suryawati, E., & Prasetyo, A. P. B. 2023. Environmental practicum integrated with reflective worksheet to enhance students' systems thinking skills. *International Journal of Instruction*, 16(1), 99–116.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., Constantinou, C. 2009. An Investigation of the Potential of Interactive Simulations for Developing System Thinking Skills in Elementary School: A Case Study with Fifth-Graders. *Int. J. Sci. Educ*, 31, 655–674.
- Fraenkel, J.R., Wallen, N., E., & Hyun, H., H. 2012. *How to Design and Evaluate Research in Education*. 8th ed. New York: Mc Graw Hill.
- FREIRE, P. 1997. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro, Paz e Terra.
- Herison, A. 2009. “Desain Prototipe Instalasi Koagulasi dan Kolam Fakultatif Untuk Pengolahan Air Lindi. Bandar Lampung
- Hester, P. T., & Adams, K. M. 2014. Systemic Thinking: Fundamentals for Understanding Problems and Messes. *Springer US*.
- Hidayati, N. & Wuryandari, A, I. 2012. Media Design for Learning Indonesian in Junior High School Level. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol 67, pp 490–499 doi: 10.1016/j.sbspro.2012.11.354
- Hmelo, C. E., Holton, D. L., Kolodner, J. L. 2000. Designing to Learn about Complex Systems. *J. Learn. Sci.* 9, 247–298.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. 2003. *The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century*. Science Education, 88(1), pp. 28-54.
- Hokayem, H., Ma, J., & Jin, H. 2015. A Learning Progression for Feedback Loop reasoning at Lower Elementary level. *J. Biol. Educ.* 49, 246-260
- Hosnan, M. 2014. *Pendekatan Saintifik dan Kontekstual Dalam Pembelajaran Abad 21*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Hosnan. 2019. *Pendekatan saintifik dan kontekstual dalam pembelajaran abad 21*. Bogor: Ghalia Indonesia.

- Jacobson, M. J. 2001. Problem Solving, Cognition, and Complex Systems: Differences between Experts and Novices. *Complexity*, 6, 41–49.
- Jamiana, A, R and Baharomb, R, The Application of Teaching Aids and School Supportive Factors in Learning Reading Skill among the Remedial Students in Under Enrolment Schools. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2012, vol 35, pp 187 – 194. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.02.078
- Jordan, R. C., Hmelo-Silver, C., Liu, L., & Gray, S. A. Fostering Reasoning about Complex Systems: Using the Aquarium to Teach Systems Thinking. *Appl. Environ. Educ. Comm. Int. J.* 2013, 12, 55–64.
- Kolb, D. A. 2015. *Experiential learning: Experience as the source of learning and development (2nd ed.)*. New Jersey: Pearson Education.
- Kusumawati, D., Hidayat, T., & Rahmawati, D. 2021. Student worksheet as scaffolding to improve conceptual understanding and scientific reasoning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1), 012002.
- Levrini, O., Tasquier, G., Barelli, E., Laherto, A., Palmgren, E., Branchetti, L., & Wilson, C. (2021). Systems thinking in education as a key competence for sustainable development: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 322, 129071. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129071>
- Mutakinati, L., Anwari, I., & Wicaksono, I. 2018. Improving students' scientific literacy through environmental-based practicum. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(4), 430–438.
- Nugraha, R. A., Yuliani, S., & Astuti, R. 2021. Enhancing students' systems thinking through science practicum activities on environmental pollution. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(2), 256–268.
- Pratiwi, N., & Rahayu, S. 2022. The role of contextual practicum in developing students' system thinking skills. *Journal of Science Learning*, 5(2), 152–162.
- Rahmawati, A., Widodo, A., & Anisa, A. 2021. Problem formulation based on environmental issues to foster students' critical thinking and systems understanding. *International Journal of Instruction*, 14(3), 799–816.
- Raia, F. 2005. Students' Understanding of Complex Dynamic Systems. *J. Geosci. Educ.* 53,297-308
- Richmond, B. 1993. Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113–133.
- Schuler, S., Fanta, D., Rosenkraenzer, F., & Riess, W. 2017. Systems thinking within the scope of education for sustainable development (ESD) – a

- heuristic competence model as a basis for (science) teacher education. *Journal of Geography in Higher Education*, Vol 8265, 1– 13.
- Senge, P. M. 2006. *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization (Rev. ed.)*. New York: Doubleday.
- Sholeh, M., & Lestari, N. 2022. The effect of problem-based questioning on students' systems thinking about environmental issues. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(1), 37–46.
- Sterman, J. D. 2000. *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: *Irwin McGraw-Hill*.
- Sutarno, S. 2018. Pengembangan model virtual higher order thinking skills laboratory untuk meningkatkan keterampilan berfikir kritis dan pemecahan masalah secara kreatif mahasiswa didik calon guru fisika. *In Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Tobin, K. G., & Capie, W. 1978. The development and validation of a group test of logical thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(1), 11–24.
- Tripto, J., Assaraf, O. B. Z., & Snapir, Z. 2017. Amit, M. How Is the Body's Systemic Nature Manifested Amongst High School Biology Students? *Instr. Sci.* 2017, 45, 73–98.
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. 2008. Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *Int. J. Sci. Educ.* 30, 543–568.
- Wijayanti, D., & Peserta didiknto, J. 2020. The use of problem-based worksheets to train critical thinking skills in science learning. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 6(3), 345–354.
- Yustina, I., & Apriadi, H. 2021. Environmental education through system thinking approach to foster ecological awareness in secondary school students. *Journal of Environmental Education Research*, 27(4), 521–534.
- Çimer, A., & Taşdemir, A. 2019. The effect of environmental-based laboratory practices on students' ecological attitudes and conceptual understanding. *Journal of Biological Education*, 53(3), 284–298.