

**EFEKTIVITAS MODEL *PROBLEM BASED LEARNING* (PBL)
BERBASIS *GREEN CHEMISTRY* TERHADAP KETERAMPILAN
BERPIKIR KRITIS SISWA**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Pendidikan dalam Ilmu Pendidikan Kimia



Diajukan oleh:

Hiraluna Asyaura

NIM: 2108076069

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hiraluna Asyaura

NIM : 2108076069

Jurusan : Pendidikan Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**EFEKTIVITAS PEMBELAJARAN *PROBLEM BASED*
LLEARNING (PBL) BERBASIS *GREEN CHEMISTRY*
TERHADAP KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA**

Secara Keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 16 Januari 2025

Dibuat Pernyataan,



Hiraluna Asyaura

NIM. 2108076069



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jln. Prof. Dr. Hamka Kampus II Ngaliyan Semarang

Telp. 7601295 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Efektivitas Model *Problem Based Learning* (PBL) berbasis *Green Chemistry* terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Penulis : **Hiraluna Asyaura**

NIM : 2108076069

Jurusan : Pendidikan Kimia

Telah diajukan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu Pendidikan Kimia.

Semarang, 13 Maret 2025

Dewan Penguji

Ketua Sidang

Julia Mardhiya, M.Pd
NIP. 199310202019032014

Sekretaris Sidang

Dr. Sri Mulyanti, M.Pd
NIP. 198702102019032012

Penguji 1

Lis Setiyo Ningrum, M.Pd
NIP. 199308182019032028

Penguji 2

Lenny Khotimah Harahap, M.Pd
NIP. 199212202019032019



Pembimbing I

Dr. Sri Mulyanti, M.Pd
NIP. 198702102019032012

Pembimbing II

Julia Mardhiya, M.Pd
NIP. 199310202019032014

NOTA DINAS

Semarang, 16 Januari 2023

Yth. Ketua Program Studi Pendidikan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Efektivitas Pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) berbasis *Green Chemistry* terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Penulis : **Hiraluna Asyaura**

NIM : 2108076069

Jurusan : Pendidikan Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqsyah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb

Pembimbing I



Dr. Sri Mulyanti, M.Pd

NIP. 198702102019032012

NOTA DINAS

Semarang, 23 Januari 2025

Yth. Ketua Program Studi Pendidikan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Efektivitas Pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) berbasis *Green Chemistry* terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Penulis : **Hiraluna Asyaura**

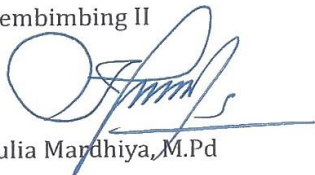
NIM : 2108076069

Jurusan : Pendidikan Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqsyah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb

Pembimbing II



Julia Mardhiya, M.Pd

NIP. 199310202019032014

ABSTRAK

Keterampilan berpikir kritis merupakan keterampilan esensial dalam menghadapi tantangan abad 21, namun data PISA 2022 menunjukkan penurunan keterampilan berpikir kritis yang dibuktikan dengan adanya penurunan tren kinerja dalam matematika, membaca dan sains dibandingkan pada tahun 2018. Hal ini dapat terjadi karena kurangnya kemampuan guru dalam mendesain proses pembelajaran dan kemampuan siswa dalam memecahkan masalah belum optimal. Kegiatan pembelajaran pada umumnya juga belum sepenuhnya mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengukur keefektifan model PBL berbasis *green chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dengan menggunakan materi termokimia. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan metode *quasi experiment* dengan desain *nonequivalent control group design*. Penelitian ini dilaksanakan di SMA N 03 Semarang dengan pengambilan sample yang didasarkan pada teknik *purposive sampling*, dimana kelas XI-2 dipilih sebagai kelas kontrol dan kelas XI-3 sebagai kelas eksperimen. Sementara teknik pengumpulan data menggunakan teknik tes dan non tes. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata antara kelas kontrol dan eksperimen yang mengindikasikan bahwa perlakuan model PBL berbasis *green chemistry* efektif terhadap keterampilan berpikir kritis. Hal ini dibuktikan dengan nilai signifikansi uji hipotesis (2-tailed) menggunakan *Independent t-test* yang dihasilkan kurang dari 0,05 sehingga hipotesis nol ditolak. Sementara efek keterampilan berpikir kritis diukur menggunakan uji *effect size* dengan didapatkan hasil analisis sebesar 1.049 atau 84%. Efek keterampilan berpikir kritis ini dikategorikan tinggi berdasar pada interpretasi nilai efek menurut Cohen's.

Kata Kunci: *green chemistry*, keterampilan berpikir kritis, model *pbl*, termokimia

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilámin, puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq, hidayah serta inayah-Nya sehingga skripsi dengan judul Efektivitas Model *Problem Based Learning (PBL)* berbasis *Green Chemistry* terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa dapat terselesaikan. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah limpah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat serta para pengikutnya. Skripsi ini disusun guna memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari berbagi pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, motivasi dan do'a. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang
2. Wirda Udaibah, M.Si selaku Ketua Jurusan Prodi Pendidikan Kimia UIN Walisongo Semarang
3. Mufidah, M.Pd selaku dosen wali yang selalu memberikan bimbingan, semangat dan motivasi kepada penulis selama menempuh studi di UIN Walisongo Semarang.
4. Dr. Sri Mulyanti, M.Pd dan Julia Masrdhiya, M.Pd selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberikan

masukan, memberikan semangat dan dedikasinya kepada penulis sehingga mampu untuk terus berprogres dalam proses penyusunan skripsi

5. Segenap dosen, pegawai, dan civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak dukungan dan pemahaman.
6. Drs. Wahono, M.Pd dan Retno Nurcahyani, S.Pd., Gr selaku validator ahli instrumen yang telah memberikan penilaian kelayakan instrumen serta saran selama menyusun instrumen penelitian.
7. Kepala sekolah SMA N 03 Semarang Yuwana, M.Kom, guru kimia Sri Lestari Puji Astuti, M,Pd dan Retno Nurcahyani, S.Pd serta staf TU sekolah.
8. Teman-teman siswa kelas XI 2, XI 3, XII 2, dan XII 8 yang telah membantu peneliti dalam pelaksanaan riset di SMA N 03 Semarang.
9. Kedua orang tua saya, Bapak Mujiarso dan Ibu Puji Astuti yang selalu memberikan kasih sayang dan doa yang tulus serta memberikan semangat dan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.
10. Kedua saudara laki-laki saya Izaz Andre Faizal dan Radhitya Rabbani yang senantiasa memberikan semangat, motivasi dan dukungan yang luar biasa.
11. Teman-teman pendidikan kimia angkatan 2021 khususnya kelas PK-C yang selalu memberikan dukungan dan menjadi tempat untuk bertukar pikir selama penyusunan skripsi.

12. Segenap teman-teman PLP di SMA N 03 Semarang dan KKN reguler 83 posko 8 yang turut memberikan semangat dan turut mewarnai pengalaman di luar perkuliahan.
13. Teman satu kamar Ni'matul Khasanah yang telah memberikan dukungan, tenaga, dan motivasinya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
14. Semua pihak yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan tenaga yang tidak peneliti sebutkan satu persatu.

Penulis tidak dapat memberikan balasan apa-apa selain ucapan terimakasih dan iringan do'a semoga Allah SWT membalas semua amal kebaikan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini banyak kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan masukan dari berbagai pihak demi memperbaiki tugas akhir ini. Semoga skripsi ini menjadi amal saleh bagi penulis dan bermanfaat bagi semua pihak yang membaca.

Semarang, 23 Januari 2025

Penulis,

Hiraluna Asyaura

NIM. 2108076069

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
PENGESAHAN	ii
NOTA DINAS.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	8
C. Pembatasan Masalah	9
D. Rumusan Masalah	10
E. Tujuan Penelitian.....	10
F. Manfaat Penelitian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Kajian Teori.....	13
B. Kajian Penelitian yang Relevan	56
C. Kerangka Berpikir	60
D. Hipotesis Penelitian.....	63
BAB III METODE PENELITIAN.....	64
A. Jenis Penelitian	64
B. Tempat dan Waktu Penelitian	65

C.	Populasi dan Sampel Variabel	66
D.	Definisi Operasional Variabel	67
E.	Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data.....	68
F.	Validitas dan Reliabilitas Instrumen	69
G.	Teknik Analisi Data	76
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		81
A.	Deskripsi Hasil Penelitian.....	81
B.	Hasil Uji Hipotesis	100
C.	Pembahasan	103
D.	Keterbatasan Penelitian	134
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		136
A.	Simpulan	136
B.	Implikasi	136
C.	Saran	138
DAFTAR PUSTAKA.....		139

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan antara model pembelajaran dengan pendekatan, model, strategi, dan taktik pembelajaran	14
Gambar 2.2	Biofuel sebagai sumber energi terbarukan	45
Gambar 2.3	Grafik perubahan entalpi reaksi eksotermik	48
Gambar 2.4	Grafik perubahan entalpi reaksi eksoterm	49
Gambar 2.5	Kalorimeter bom dan kalorimeter sederhana	51
Gambar 2.6	Diagram siklus pembentukan CO ₂	54
Gambar 2.7	Kerangka Berfikir	62
Gambar 4.1	Rata-rata nilai keterampilan berpikir kritis	97
Gambar 4.2	Hasil nilai <i>pretest</i> berpikir kritis	110
Gambar 4.3	Hasil nilai <i>posttest</i> berpikir kritis	121
Gambar 4.4	Skor <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> per indikator	124
Gambar 4.5	Jawaban <i>pretest</i> indikator 1	125
Gambar 4.6	Jawaban <i>posttest</i> indikator 1	125
Gambar 4.7	Jawaban <i>pretest</i> indikator 2	126
Gambar 4.8	Jawaban <i>posttest</i> indikator 2	126
Gambar 4.9	Jawaban <i>pretest</i> indikator 5	128
Gambar 4.10	Jawaban <i>posttest</i> indikator 5	128
Gambar 4.11	Jawaban <i>pretest</i> indikator 6	129
Gambar 4.12	Jawaban <i>posttest</i> indikator 6	129

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Prinsip <i>Green Chemistry</i>	37
Tabel 2.2	Indikator berpikir kritis	43
Tabel 3.1	Desain Penelitian	65
Tabel 3.2	Tabulasi silang validitas gregory	71
Tabel 3.3	Kriteria validitas isi instrumen	72
Tabel 3.4	Kriteria reliabilitas soal	74
Tabel 3.5	Kriteria tingkat kesukaran soal	75
Tabel 3.6	Kriteria daya pembeda soal	76
Tabel 3.7	Klasifikasi <i>effect size</i>	80
Tabel 4.1	Hasil uji gregory	85
Tabel 4.2	Hasil validasi butir soal uji coba	86
Tabel 4.3	Hasil analisis reliabilitas	87
Tabel 4.4	Tingkat kesukaran soal	88
Tabel 4.5	Daya beda soal	89
Tabel 4.6	Soal yang digunakan sebagai instrumen	90
Tabel 4.7	Hasil rata-rata nilai <i>pretest</i> kelas kontrol dan eksperimen	95
Tabel 4.8	Hasil rata-rata nilai <i>posttest</i> kelas kontrol dan eksperimen	96
Tabel 4.9	Data uji normalitas	99
Tabel 4.10	Hasil uji homogenitas keterampilan berpikir kritis	100
Tabel 4.11	Uji <i>independent t test</i> keterampilan berpikir kritis	101
Tabel 4.12	Hasil uji <i>effect size</i>	103
Tabel 4.13	Cakupan indikator keterampilan berpikir kritis pada instrumen tes	107

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data pra riset	146
Lampiran 2	Kisi-kisi instrumen	147
Lampiran 3	Kunci jawaban dan rubrik penilaian	154
Lampiran 4	Lembar validasi ahli	165
Lampiran 5	Kisi-kisi instrumen tes berpikir kritis	172
Lampiran 6	Instrumen tes berpikir kritis	177
Lampiran 7	Kunci jawaban dan rubrik penilaian	181
Lampiran 8	Hasil uji validitas oleh ahli	189
Lampiran 9	Uji validitas gregory	194
Lampiran 10	Daftar responden uji coba	195
Lampiran 11	Data uji coba instrumen	197
Lampiran 12	Validitas butir soal	200
Lampiran 13	Uji reliabilitas	202
Lampiran 14	Tingkat kesukaran soal	203
Lampiran 15	Daya pembeda soal	204
Lampiran 16	Soal yang layak digunakan	206
Lampiran 17	Modul ajar dan LKPD	207
Lampiran 18	Petunjuk praktikum	222
Lampiran 19	Sanpel penelitian	228
Lampiran 20	Lembar jawab siswa	230
Lampiran 21	Nilai keterampilan berpikir kritis	233

Lampiran 22	Uji normalitas	235
Lampiran 23	Uji homogenitas	236
Lampiran 24	Uji hipotesis	237
Lampiran 25	Uji <i>effect size</i>	238
Lampiran 26	Dokumentasi	239
Lampiran 27	Surat penunjukan validator	241
Lampiran 28	Surat riset	242
Lampiran 29	Riwayat hidup	243

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Keterampilan berpikir kritis merupakan kunci dalam menghadapi tantangan dunia yang secara signifikan terus berubah. Isu-isu global dan permasalahan yang ada dapat diatasi dengan kemampuan mengambil keputusan dan sikap serta berpikir secara mendalam untuk menghasilkan solusi yang konkrit. Keterampilan abad 21 diarahkan untuk mendorong keterampilan 4C yaitu berpikir kreatif (*creativity*), berkolaborasi (*collaboration*), berpikir kritis dan berkomunikasi (Ichsan *et al.*, 2023). Salah satu kemampuan esensial di era modern adalah berpikir kritis, yang diperlukan siswa untuk mengembangkan keterampilan, *soft skill*, dan mampu beradaptasi dengan lingkungan yang terus berubah.

Keterampilan berpikir kritis melibatkan proses berpikir mendalam yang membantu siswa mengambil keputusan dan menyusun kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan dengan menggunakan data yang relevan (Sulistyowarni *et al.*, 2019). Hal ini juga ditegaskan oleh Johnson (2002) bahwasanya penerapan keterampilan berpikir kritis dalam setiap tingkatan kelas akan menjadi

tradisi yang pada akhirnya dapat merangsang kemampuan siswa untuk memilih informasi yang logis sesuai dengan fakta di lapangan. Siswa membutuhkan keterampilan berpikir kritis dalam menyelesaikan berbagai masalah, dalam konteks penelitian ini, berpikir kritis diartikan sebagai keterampilan untuk menganalisis dan menilai informasi agar dapat dijadikan landasan dalam membuat suatu kesimpulan (Rahmawati, Pujiastuti, & Cahyaningtyas, 2023).

Keterampilan berpikir kritis yang mendukung penyelesaian masalah menjadi langkah penting dalam membangun sumber daya manusia berkualitas. Kualitas sumber daya manusia dapat ditingkatkan melalui pendidikan yang menitikberatkan pada penguasaan bidang sains. Pendidikan sains dapat menjembatani manusia untuk dapat berpikir kritis, mampu mengambil keputusan, dan mampu mengimplementasikan pengetahuan untuk kebermanfaatan (Sastrika, Sadia, & Muderawan, 2013).

Pembelajaran kimia merupakan bagian dari pendidikan sains yang diterapkan di jenjang SMA. Sebagai cabang ilmu pengetahuan, kimia memiliki kedudukan yang penting karena memungkinkan siswa untuk mempelajari struktur materi baik tingkat makroskopis maupun mikroskopis. Materi kimia umumnya menggunakan konsep

abstrak sehingga tidak sedikit siswa yang berpendapat bahwa kimia merupakan mata pelajaran yang sulit dipahami (Sirhan, 2007). Berdasarkan data yang diperoleh pada tahap obsevasi awal (*pra riset*) yang dilakukan di SMA N 03 Semarang kelas XII pada tanggal 29-30 Juli 2024 diperoleh bahwa termokimia menjadi topik kimia berbasis matematis yang dianggap sulit dipahami oleh siswa. Hal ini dibuktikan dari sejumlah 115 siswa kelas XII, 47 diantaranya memilih materi termokimia sebagai materi yang dianggap sulit dengan kategori paling tinggi mencapai presentase 40%.

Pemahaman terhadap konsep kimia yang dinilai sulit menjadi penting karena konsep ini menjadi dasar bagi teori kimia yang lebih kompleks. Paradigma seperti inilah yang dapat menurunkan minat siswa dalam mempelajari kimia. Selain itu, ketika proses pembelajaran kebanyakan siswa kurang memperhatikan tahapan penyelesaian (Hamidah dan Suherman, 2016). Siswa hanya mementingkan hasil akhir sehingga konsep berpikir dalam menyelesaikan masalah kurang maksimal yang menyebabkan tingkat berpikir kritis yang dimiliki kurang maksimal. Faktanya di Indonesia siswa yang memiliki keterampilan berpikir kritis masih tergolong rendah, dilihat dari taraf berpikir yang masih dalam tahapan

mengetahui belum pada proses berpikir tinggi. Data *Program for International Student (PISA) 2022* yang dirilis oleh OECD menunjukkan penurunan tren kinerja dalam matematika, membaca dan sains dibandingkan pada tahun 2018 yaitu dari rata-rata skor matematis 379 menjadi 366 (OECD, 2023).

Kemampuan guru dalam mendesain, merencanakan dan mengelola proses pembelajaran dapat memengaruhi keterampilan berpikir kritis siswa (Simanjuntak dan Sudibjo, 2019). Pembuatan rancangan pembelajaran perlu mendorong keterlibatan siswa, sehingga tercipta berbagai bentuk interaksi baik antar guru maupun siswa. Oleh karena itu, peran guru sangat penting dalam mengatur pembelajaran di kelas sehingga menciptakan suasana belajar yang optimal. Guru juga diharapkan lebih kreatif dalam meningkatkan partisipasi siswa selama proses pembelajaran (Assidiq *et al.*, 2022).

Observasi di SMA N 03 Semarang mengungkapkan bahwa penerapan model pembelajaran oleh guru telah sejalan dengan implementasi kurikulum merdeka, namun masih ditemukan adanya guru yang menggunakan model konvensional. Hal ini tentu tidak mendukung siswa untuk berkembang dan memiliki keterampilan berfikir kritis. Pada intinya tidak semua guru sudah menerapkan model

pembelajaran aktif. Model pembelajaran yang digunakan oleh guru kimia lainnya sesuai dengan pedoman kurikulum merdeka. Model pembelajaran aktif memprioritaskan pembelajaran melalui diskusi kelompok, eksperimen dan demonstrasi dalam memahami dan mendapatkan konsep pengetahuan baru (Akhiruddin *et al.*, 2019). Melalui kurikulum merdeka, siswa diberi kesempatan untuk lebih berpartisipasi aktif dalam proses pembelajaran.

Kesempatan siswa untuk membangun konsep sendiri melalui berbagai kegiatan dapat diwujudkan dengan adanya pembelajaran aktif. Guru berperan sebagai fasilitator yang membimbing proses belajar dan guru bukan satu-satunya sumber informasi, hal ini membuka kesempatan luas bagi siswa untuk terlibat langsung dalam pemecahan masalah, meningkatkan motivasi, serta memperluas pemahaman dan pengetahuan (Arfandi dan Samsudin, 2021). Proses pembelajaran aktif mendukung siswa untuk membaca, menulis, diskusi dengan siswa lain, dan tentunya terlibat dalam pemecahan masalah maupun penemuan pengetahuan baru (Akhiruddin *et al.*, 2019). Pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) merupakan model yang efektif untuk mengasah keterampilan berpikir kritis dan meningkatkan keterlibatan siswa.

PBL merupakan pembelajaran berbasis *student center* yang melibatkan siswa dalam proses penyelidikan dan mengintegrasikan pengetahuan guna menemukan solusi dari masalah yang diajukan di awal pembelajaran (Asmara dan Septiana, 2023). Syamsidah dan Suryani (2018) juga menegaskan bahwa model PBL memberikan peluang kepada siswa untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah melalui proses ilmiah, sehingga mereka mendapatkan pengalaman belajar yang lebih nyata. Melalui model ini, siswa dapat menyelesaikan masalah dan mengeksplor pengetahuannya secara mandiri. Model pembelajaran ini juga dapat mendukung pemahaman siswa terhadap suatu konsep berdasarkan penemuannya bukan hanya konsep yang didengarnya.

Kegiatan praktikum dan diskusi yang diterapkan dalam pembelajaran PBL dapat disesuaikan untuk mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (*SDGs*). Pembangunan berkelanjutan ini bisa diimplementasikan dengan penerapan prinsip *Green Chemistry*. Kegiatan praktikum yang dilaksanakan di SMA N 03 Semarang kelas XI belum sepenuhnya menerapkan konsep *Green Chemistry*, hal ini dapat terjadi karena ketersediaan sumber daya alam yang cukup memadai namun belum digunakan untuk menunjang kegiatan

praktikum berbasis *Green Chemistry*. Tidak hanya itu, sebagian besar siswa belum memahami prinsip *green chemistry* secara menyeluruh. Pembelajaran lebih berfokus pada teori sehingga pengenalan terhadap prinsip *green chemistry* dalam kehidupan sehari-hari kurang maksimal. Pemahaman yang dangkal ini menghambat siswa dalam mengenali potensi *green chemistry* untuk mendukung keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan negatif.

Green Chemistry merupakan pendekatan dalam merancang, memproduksi, dan penggunaan proses/produk kimia yang bertujuan untuk meminimalisir dan menghilangkan bahan kimia berbahaya. Pendekatan yang digunakan dapat mengaitkan secara langsung fenomena di sekitar lingkungan dengan tujuan untuk mencegah limbah. (Risna, Hasan, & Supriatno, 2019). Pendekatan *Green Chemistry* akan melibatkan siswa secara langsung dengan lingkungan selama pembelajaran sehingga dapat meningkatkan nilai konservasi siswa (Rosita, Sudarmin, & Marwoto, 2014). Tujuan *Green Chemistry* adalah untuk mengurangi bahaya di seluruh tahapan siklus hidup. Bahaya ini memiliki kemampuan untuk menimbulkan akibat buruk terhadap manusia dan lingkungan.

Penelitian yang dilakukan oleh Saputri dan Suprihatiningrum (2023) menerapkan pembelajaran PBL sebagai sarana untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan *skills green chemistry* pada topik asam basa. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Widyaningrum *et al.* (2023) yang mengukur keterampilan berpikir kritis pada materi larutan penyangga dengan menerapkan model pembelajaran PBL. Pada penelitian ini, model PBL juga akan digunakan, namun proses pembelajarannya berbasis prinsip *green chemistry*. Penelitian ini juga berfokus pada pengukuran keterampilan berpikir kritis melalui berbagai aktivitas, salah satunya kegiatan praktikum.

Berdasarkan permasalahan yang ada, diperlukan sebuah model pembelajaran yang dapat mendorong keterlibatan aktif siswa serta meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut dengan menerapkan model pembelajaran PBL berbasis *Green Chemistry*.

B. Identifikasi Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu:

1. Konsep berpikir dalam menyelesaikan masalah kurang maksimal yang menyebabkan tingkat berpikir kritis yang dimiliki juga kurang maksimal
2. Terjadi penurunan tren kinerja dalam matematika, membaca, dan sains berdasarkan data PISA yang dirilis oleh OECD 2022
3. Materi termokimia menjadi topik kimia berbasis matematis yang dianggap sulit oleh siswa dengan kategori paling tinggi mencapai 40%
4. Model pembelajaran belum sepenuhnya melibatkan keaktifan siswa, sehingga siswa kurang memahami materi dengan baik
5. Ketersediaan sumber daya alam melimpah namun belum dimanfaatkan dengan maksimal untuk kegiatan praktikum dan masih jarang dihubungkan dengan prinsip *green chemistry*
6. Prinsip *green chemistry* yang mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan belum sepenuhnya diterapkan dalam materi pembelajaran

C. Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan, perlu ada batasan masalah dalam penelitian ini. Pembatasan masalah dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Model pembelajaran yang digunakan yaitu model PBL berbasis *green chemistry*
2. Keterampilan berpikir kritis diterapkan dalam penelitian ini sebagai variabel yang akan diukur
3. Penelitian ini berfokus pada materi termokimia

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini disusun berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan yaitu bagaimana efektivitas penerapan pembelajaran PBL berbasis *Green Chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis siswa?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan peneliti ini berdasarkan rumusan masalah adalah untuk mengetahui efektivitas penerapan pembelajaran PBL berbasis *Green Chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis siswa.

F. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini dapat memberikan pengetahuan baru dan menjadi acuan dalam penerapan model pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi kimia.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Sekolah

Inovasi model pembelajaran pada penelitian ini digunakan dapat diterapkan sebagai alternatif untuk meningkatkan mutu pendidikan dan meningkatkan standar sekolah.

b. Bagi Pendidik

Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi guru dalam mengimplementasikan model pembelajaran inovatif dan memotivasi guru untuk mengoptimalkan kualitas pembelajaran.

c. Bagi Siswa

Penelitian ini dapat mendorong keterampilan berpikir kritis siswa dan diharapkan siswa lebih termotivasi untuk belajar materi kimia.

d. Bagi Peneliti

- 1) Melalui penelitian ini, peneliti dapat terlatih dalam merancang model pembelajaran PBL berbasis *Green Chemistry*.
- 2) Penelitian ini juga dapat menambah wawasan dan pengalaman peneliti terkait pengembangan model pembelajaran.

e. Bagi Pengembang Teori

- 1) Penelitian ini berpotensi untuk memperbaiki dan menyelaraskan teori-teori yang berkaitan dengan pembelajaran kimia.
- 2) Temuan dari penelitian ini dapat menjadi sumber inspirasi penelitian mendatang terkait model pembelajaran PBL berbasis *green chemistry*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Model Pembelajaran

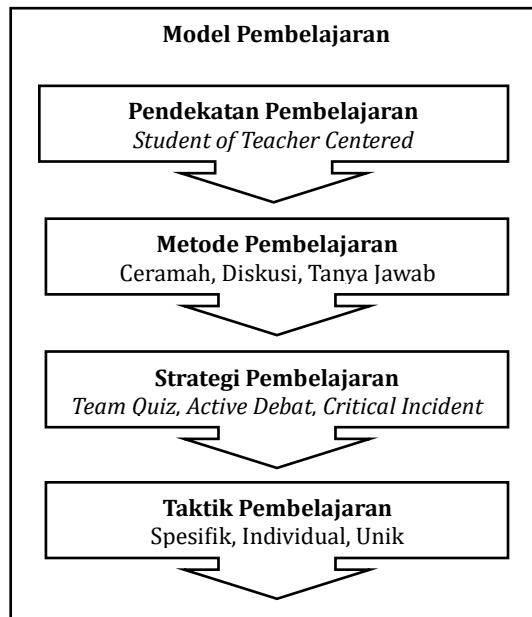
a. Pengertian Model Pembelajaran

Pendidikan merupakan ujung tombak dalam menciptakan sumber daya manusia yang berkualitas. Hal ini mendorong upaya peningkatan kualitas pendidikan, yang terlihat dari hasil belajar siswa dan penyelesaian pendidikan yang tepat waktu. Faktor eksternal yang mendukung kualitas pendidikan yaitu guru yang mampu menciptakan proses pembelajaran dengan penggunaan model pembelajaran yang sesuai.

Model pembelajaran adalah suatu kerangka konseptual dengan prosedur yang direncanakan untuk mengelola kegiatan belajar mengajar yang disesuaikan dengan teori yang digunakan sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai (Purnomo *et al.*, 2022). Model pembelajaran ini erat kaitanya dengan penggunaan strategi dan aktivitas pembelajaran siswa.

Model pembelajaran disusun dan disesuaikan dengan asas pembelajaran, teori psikologi, sistem ataupun teori lain yang mendukung (Hasriadi, 2022). Menurut Helmiati (2012), model pembelajaran dapat

diartikan sebagai suatu kerangka atau gabungan dari pendekatan, metode dan teknik pembelajaran. Hubungan tersebut dapat digambarkan pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1. Hubungan antara model pembelajaran dengan pendekatan, model, strategi, dan taktik pembelajaran (Helmiati, 2012)

Berdasarkan konsep pembelajaran, model pembelajaran merupakan susunan langkah-langkah sistematis yang berfungsi sebagai panduan untuk mencapai tujuan pembelajaran, mencakup teknik,

metode, strategi, media ajar, dan instrumen penilaian (Afandi, Chamalah, & Wardani, 2009).

Berdasarkan berbagai pandangan ahli, model pembelajaran dapat disimpulkan sebagai kerangka konseptual yang disusun berdasarkan prosedur untuk mencapai tujuan pembelajaran. Model ini terdiri dari rangkaian tahapan pembelajaran yang dilaksanakan dari awal hingga akhir, lengkap dengan asesmen yang harus dikerjakan oleh siswa.

b. Ciri-Ciri Model Pembelajaran

Ciri model pembelajaran diantaranya yaitu sebagai berikut (Al-Tabany, 2017) :

1. Model pembelajaran yang disusun oleh para ahli merupakan teori yang rasional dan logis, artinya teori tersebut dikembangkan dengan melihat kenyataan yang sebenarnya
2. Memiliki tujuan yang jelas sehingga siswa belajar dengan baik
3. Tahapan belajar diperlukan supaya model pembelajaran dapat dilaksanakan dengan baik
4. Model pembelajaran yang digunakan dapat menciptakan kondisi belajar yang baik

Berdasarkan ciri-ciri model pembelajaran yang dijelaskan oleh ahli, secara umum ciri model

pembelajaran yang dapat mendukung tujuan pembelajaran antara lain adalah model pembelajaran disusun berdasarkan teori yang telah dikembangkan oleh ahli, teori yang digunakan dalam model pembelajaran mendukung tujuan pembelajaran serta menjadi pedoman dalam kegiatan pembelajaran. Selain itu model pembelajaran memiliki langkah-langkah kegiatan belajar yang jelas dan terarah sehingga menciptakan suasana belajar yang kondusif.

c. Fungsi Model Pembelajaran

Model pembelajaran berfungsi sebagai panduan bagi guru dalam merancang proses belajar mengajar, sekaligus mendukung terciptanya pembelajaran yang terorganisir (Sutikno, 2019). Pernyataan tersebut selaras dengan pendapat dari Purnomo *et al.* (2022), menjelaskan bahwa fungsi model pembelajaran adalah sebagai pedoman bagi guru dalam merancang hingga melaksanakan kegiatan pembelajaran secara afektif.

Asyafah (2019) mengemukakan fungsi dari model pembelajaran yaitu:

1. Sebagai panduan bagi guru dalam merencanakan kegiatan pembelajaran

2. Pedoman bagi guru untuk menentukan langkah kegiatan yang diperlukan
3. Membantu guru dalam mengajarkan materi kepada siswa
4. Membantu siswa dalam menerima informasi dan cara berfikir sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai

Pada dasarnya, model pembelajaran berfungsi sebagai panduan bagi guru dalam merancang dan menjalankan kegiatan pembelajaran dengan menetapkan tahapan-tahapan yang sesuai. Model pembelajaran juga berperan dalam memfasilitasi siswa untuk mengakses informasi dan memahami materi guna mencapai target pembelajaran.

d. Komponen Model Pembelajaran

Proses pembelajaran yang efektif didukung oleh berbagai komponen dalam model pembelajaran, karena setiap komponen saling terkait dan membentuk model pembelajaran sebagai suatu kesatuan yang utuh. Komponen tersebut meliputi sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dan dampak instruksional (Purnomo *et al.*, 2022).

1. Sintaks

Sintaks merupakan langkah-langkah pembelajaran yang akan dilakukan secara nyata sebagai bentuk urutan kegiatan pembelajaran. Langkah pembelajaran dalam setiap model memiliki tahapan dan karakteristik tersendiri, tentunya model pembelajaran yang berbeda memiliki sintaks yang berbeda pula (Asyafah, 2019).

2. Prinsip reaksi

Prinsip reaksi merupakan gambaran mengenai reaksi guru dalam memperlakukan siswa dan mengetahui respon terhadap segala hal yang dilakukan oleh siswa.

3. Sistem sosial

Sistem sosial merujuk pada perilaku atau norma yang berlaku selama pembelajaran. Unsur ini tidak mengikuti aturan yang sistematis sehingga guru lebih fleksibel dalam menyesuaikan peranya dengan model pembelajaran yang diterapkan.

4. Sistem pendukung

Sistem pendukung ini lebih mengarah pada sarana dan prasaran yang dibutuhkan dalam proses belajar dan keterampilan guru demi mendukung keberhasilan pembelajaran.

5. Dampak instruksional

Dampak instruksional yang dimaksud yaitu hasil belajar siswa atau penilaian lain yang diperoleh secara langsung.

Komponen model pembelajaran terdiri dari sintak, prinsip reaksi, sistem sosial, sistem pendukung, dan dampak instruksional, yang membantu proses belajar berjalan efektif. Sintak adalah langkah-langkah pembelajaran, prinsip reaksi menunjukkan cara guru membimbing siswa, dan sistem sosial mengatur interaksi dalam kelas. Sistem pendukung mencakup sumber daya yang diperlukan, dan dampak instruksional adalah hasil belajar yang diharapkan. Semua komponen ini bekerja bersama untuk menciptakan pembelajaran yang optimal.

e. Jenis Model Pembelajaran

Model pembelajaran memiliki macam yang banyak. Para ahli khususnya Joyce dan Weil (2003) mengkategorikan model pembelajaran menjadi empat kategori yaitu:

1) *Behavioral Models* (Model Perilaku)

Model pembelajaran ini disesuaikan dengan teori belajar behavioristik. Model pembelajaran ini menekankan pada perubahan perilaku siswa ke

arah yang lebih baik dan sejalan dengan tujuan pendidikan.

2) *Information Processing Models* (Model Pengelolaan Informasi)

Model pemrosesan informasi fokus pada cara-cara untuk mengolah informasi dan mengembangkan konsep yang dimiliki. Model pembelajaran yang diterapkan mampu memberikan informasi konsep dan menghasilkan pemikiran kreatif. Beberapa model pembelajaran dibuat khusus untuk mengembangkan kemampuan intelektual secara keseluruhan. Banyak model pemrosesan informasi yang bermanfaat dalam mempelajari diri sendiri dan masyarakat, serta untuk mencapai tujuan tertentu.

3) *Social Models* (Model Sosial)

Model pembelajaran sosial dibangun untuk memanfaatkan kegiatan secara kelompok untuk membangun komunikasi dan semangat belajar yang tinggi.

4) *Personal Models* (Model Pribadi)

Model pembelajaran personal dimulai dari sudut pandang individu. Model ini memberikan perhatian besar pada perspektif individu sebagai

upaya mendorong kemandirian. Model pembelajaran ini sesuai dengan paradigma *student center learning*.

Penelitian ini mengacu pada penerapan model pembelajaran personal, yang berfokus pada pengembangan individu siswa, khususnya dalam aspek berpikir kritis dan kemandirian dalam belajar. Model ini menekankan bagaimana siswa membangun pemahamannya sendiri melalui pengalaman belajar yang aktif dan reflektif.

PBL dipilih dalam penelitian ini sebagai pendekatan utama karena termasuk dalam kategori model personal. PBL memberikan kesempatan kepada siswa untuk terlibat langsung dalam pemecahan masalah nyata, mendorong mereka untuk berpikir secara mandiri, menganalisis informasi, serta mengambil keputusan berdasarkan pemahaman yang mereka bangun sendiri. Dengan demikian, penggunaan model personal dalam penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui pengalaman belajar yang lebih bermakna dan kontekstual.

2. *Problem Based Learning (PBL)*

a. Pengertian PBL

Problem Based Learning (PBL) merupakan salah satu model pembelajaran yang digunakan dengan pendekatan konstruktivisme. Model ini tidak hanya menyajikan pengetahuan pada siswa, tetapi juga mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam. PBL adalah pembelajaran yang melibatkan siswa secara aktif dalam proses pemecahan masalah melalui serangkaian tahap ilmiah (Syamsidah dan Suryani, 2018). Pembelajaran PBL memberikan dampak berkelanjutan terhadap kualitas siswa, karena siswa dapat menemukan solusi dan menguasai keterampilan serta pengetahuan di luar kelas.

Pembelajaran PBL membantu siswa mengembangkan pengetahuan dan keterampilan memecahkan masalah, serta mendorong rasa ingin tahu dengan memberikan pengalaman belajar yang lebih realistis (Asmara dan Septiana, 2023). Model berbasis masalah ini juga mengajak siswa untuk berpikir kritis dan menganalisis secara mandiri, sehingga mereka dapat mengidentifikasi prinsip-prinsip yang didasarkan pada data dan informasi yang disediakan oleh guru. Selaras dengan pendapat

Haerullah dan Hasan (2017) bahwa PBL termasuk dalam pembelajaran yang memfasilitasi siswa untuk memperoleh pengalaman sendiri.

Model PBL bertentangan dengan pandangan yang melihat siswa sebagai objek pembelajaran, karena pada dasarnya siswa memiliki kemampuan dasar yang dapat berkembang secara optimal. Model pembelajaran ini juga menuntut kreativitas guru dalam menciptakan suasana belajar yang mendorong siswa belajar secara aktif (Delisle, 1997). Syamsidah dan Suryani (2018) menjelaskan bahwa kunci dalam pembelajaran berbasis masalah adalah perpaduan antara potensi guru dan siswa, guru bertugas sebagai fasilitator sementara siswa berperan sebagai inisiator diskusi. Harapannya dengan penerapan model pembelajaran ini keterlibatan guru sedikit tereduksi sebagaimana pembelajaran konvensional dan membuka ruang yang lebih luas bagi siswa untuk mengeksplor pengetahuan.

Masalah yang disajikan memberikan pengalaman kepada siswa seperti diskusi, kolaborasi, dan interaksi antar anggota tim, hal ini dapat terjadi karena masalah diselesaikan secara kelompok (Zaduqisti, 2010). Pembelajaran PBL memiliki makna

yang lebih dalam dibandingkan dengan pembelajaran yang informasinya hanya diterima satu arah oleh siswa. Siswa akan lebih memahami dan mengingat karena mereka dapat melihat hubungan antara materi yang dipelajari dan kehidupan mereka sendiri. Pembelajaran berbasis masalah menangani masalah yang sedekat mungkin dengan situasi kehidupan nyata (Delisle, 1997). Harun *et al.* (2012) menekankan bahwa komponen pembelajaran PBL yang dikembangkan oleh siswa meliputi kemampuan untuk belajar secara mandiri, keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah serta kemampuan untuk belajar secara kolaboratif dalam kelompok.

Berdasarkan definisi dari beberapa ahli, dapat disimpulkan bahwa model pembelajaran PBL merupakan model pembelajaran aktif dan melibatkan siswa dalam proses pemecahan masalah dengan bimbingan guru yang dapat melatih siswa untuk berfikir kritis, menganalisis suatu masalah dan mampu membangun pengetahuan sendiri berdasarkan data dan informasi yang diperoleh.

b. Karakteristik Pembelajaran PBL

Karakteristik model pembelajaran PBL yang dikembangkan oleh Barrow yaitu sebagai berikut:

- 1) *Learning is student-centered*, artinya siswa memiliki peran yang besar sebagai seseorang yang akan belajar. Pembelajaran ini didukung oleh pendekatan pembelajaran konstruktivisme, yang menitikberatkan pada proses mengeksplor pengetahuan secara mandiri dan aktif.
- 2) Permasalahan diangkat dari situasi nyata sehingga siswa dapat dihubungkan dengan pengalaman sehari-hari
- 3) Pengetahuan baru diperoleh melalui pembelajaran mandiri yang mendorong siswa untuk mencari informasi secara aktif dari berbagai referensi
- 4) *Learning occurd in small groups*, proses berpikir dalam memecahkan masalah didiskusikan melalui kelompok kecil sehingga terjadi proses tukar pikiran dan membangun kolaborasi antar anggota kelompok.
- 5) *Teacher act as facilitators*, dalam proses pembelajaran guru bertugas sebagai fasilitator yang memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan masalah (Min, 2005)

Menurut (Arends, 2015) menyatakan bahwa pembelajaran PBL memiliki karakteristik sebagai berikut:

- 1) Autentik, artinya masalah yang disajikan merupakan permasalahan yang dekat dan ada dalam kehidupan nyata
- 2) Masalah yang diajukan mudah dipahami dan bermanfaat bagi siswa sebagai pemecah masalah
- 3) Proses pemecahan masalah dalam kegiatan pembelajaran dilakukan sesuai dengan metode ilmiah
- 4) Adanya keterkaitan antar disiplin ilmu pada proses pembelajaran sehingga dapat diselesaikan dari berbagai sudut pandang
- 5) Mendorong siswa untuk berkolaborasi untuk memecahkan masalah dalam kelompok
- 6) Menghasilkan produk berupa karya atau pemecahan masalah dan dipublikasikan atau sekedar disampaikan kepada teman lainya.

Syamsidah dan Suryani (2018) dalam bukunya menjabarkan karakteristik pembelajaran PBL antara lain mendukung partisipasi aktif siswa, karena melibatkan serangkaian kegiatan dalam proses pembelajaran. Model ini menjadikan masalah sebagai

landasan utama dari proses pembelajaran sehingga keterampilan berpikir siswa dapat terasah, menerapkan pendekatan yang sistematis (berpikir secara ilmiah) & empiris (penyelesaian masalah berdasar pada keadaan nyata). Secara umum karakteristik model pembelajaran PBL dimulai dengan pengenalan masalah yang ada dalam kehidupan nyata, dimana pembelajaran berfokus pada siswa dan pemecahan masalah dilakukan dalam kelompok yang mendorong keterampilan menyampaikan pendapat, berpikir kritis dan kerjasama serta pembelajaran memberikan pengalaman berharga karena dilakukan melalui proses penyelidikan dengan metode ilmiah.

c. Sintak pembelajaran

Kegiatan pembelajaran PBL menerapkan pembelajaran aktif sehingga siswa terlibat langsung dalam proses pembelajaran. Berikut merupakan langkah-langkah pembelajaran PBL menurut Trianto (2009):

- 1) Orientasi siswa pada masalah
- 2) Mengorganisasi siswa
- 3) Membimbing penyelidikan individu maupun kelompok
- 4) Mengembangkan dan menyajikan hasil

5) Mengevaluasi proses dan hasil pemecahan masalah

Menurut Arends (2015) terdapat lima sintak dalam pembelajaran PBL dengan tahap pertama adalah mengarahkan siswa pada masalah, siswa aktif dan terlibat dalam penyampaian argumen untuk mengidentifikasi masalah. Kedua yaitu mengarahkan siswa agar siap untuk belajar. Langkah ketiga melibatkan pembimbingan baik secara individu maupun kelompok, dimana siswa mengumpulkan informasi yang relevan untuk menemukan penjelasan dan solusi terhadap masalah. Tahap keempat mampu mengembangkan dan menyajikan hasil, siswa merencanakan dan menyiapkan laporan secara kelompok. Tahap kelima adalah evaluasi, yang dilakukan dengan merefleksikan atau mengevaluasi hasil investigasi dan proses yang siswa gunakan.

Langkah pembelajaran PBL yang dilakukan oleh guru yaitu sebagai berikut (Nurmanita, Siagian, & Sitompul, 2019):

- 1) Orientasi siswa pada permasalahan, pada tahap ini guru dapat menjelaskan tujuan pembelajaran, memotivasi siswa untuk terlibat dalam kegiatan pemecahan masalah, serta mengajukan masalah yang akan diselesaikan.

- 2) Mengorganisir siswa untuk belajar, guru bisa membagi siswa ke dalam beberapa kelompok dan membantu siswa untuk mengatur tugas pembelajaran
- 3) Membimbing individu/kelompok, tugas guru dalam tahap ini yaitu mendorong siswa untuk mengumpulkan informasi dan penyelidikan guna memperoleh kejelasan dan solusi terhadap masalah
- 4) Tahap ini guru mendukung siswa dalam merancang dan mempersiapkan laporan sebagai langkah untuk mengolah serta mempresentasikan hasil
- 5) Tahap ini melibatkan analisis dan evaluasi, dimana guru mendampingi siswa untuk meninjau kembali serta mengevaluasi hasil dari investigasi yang dilakukan

Langkah atau sintak pembelajaran PBL secara umum dimulai dengan penyajian masalah oleh guru, kemudian siswa diminta untuk menganalisis masalah tersebut. Pemecahan masalah akan lebih efektif jika dilakukan dalam kelompok kecil, sehingga guru membagi siswa ke dalam beberapa kelompok kecil. Pembentukan kelompok inilah yang akan menjadi wadah bagi siswa untuk berdiskusi dan bertukar ide untuk memecahkan masalah. Masalah yang telah

disajikan kemudian dianalisis dengan mencari informasi yang relevan dan hasil pencarian kemudian dituangkan dalam sebuah karya baik berupa laporan atau dokumen lainnya. Guru bertugas sebagai fasilitator sehingga tugas utamanya yaitu memandu siswa secara individu maupun kelompok serta membantu peserta didik merencanakan hasil. Tahap terakhir merupakan tahap tidak kalah penting dengan tahapan sebelumnya, proses evaluasi dan refleksi dibutuhkan untuk memverifikasi hasil temuan dan pemecahan masalah oleh siswa.

d. Kelebihan dan Kekurangan

Model pembelajaran PBL memiliki berbagai kelebihan, antara lain penerapan pemecahan masalah yang efektif untuk memahami materi pelajaran, sehingga pembelajaran lebih bermakna. Proses pemecahan masalah memberikan siswa pengalaman dan pengetahuan baru bagi siswa, meningkatkan aktivitas belajar siswa, menciptakan pembelajaran variatif, serta membantu siswa untuk mengintegrasikan pengetahuan yang dimiliki untuk menyelesaikan masalah dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, melalui pemecahan masalah, siswa dapat memahami bahwa ilmu pengetahuan tidak hanya

semata-mata didapatkan dari guru, melainkan melalui proses berpikir secara mandiri (Sanjaya, 2006).

Haerullah dan Hasan (2017) juga mengungkapkan beberapa kelebihan dari model PBL yaitu sebagai berikut:

- 1) Melalui proses pemecahan masalah, siswa diberi kesempatan untuk menerapkan pengetahuan yang telah mereka pelajari dalam kontek yang relevan dengan kehidupan sehari-hari
- 2) Meningkatkan minat siswa untuk terus belajar
- 3) Pemecahan masalah dapat mendorong siswa untuk lebih reflektif dalam mengambil keputusan serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya tanggung jawab dalam proses
- 4) Menciptakan pembelajaran yang menyenangkan dan disukai oleh siswa

Kelebihan pembelajaran PBL menurut Isrokátun dan Rosmala (2019) yaitu dapat mengembangkan sikap *self-motivated*, meningkatkan kemampuan siswa untuk berinisiatif, melatih keterampilan interpersonal, siswa dapat membangun pengetahuan yang lebih bermakna, dan meningkatkan kemampuan untuk berpendapat.

Kelemahan penerapan model pembelajaran PBL menurut Sanjaya (2006) yaitu sebagai berikut:

- 1) Apabila masalah yang disajikan sulit, siswa akan merasa enggan dan kurang berminat dengan pembelajaran
- 2) Pembelajaran PBL memerlukan waktu yang cukup lama dan perlu penyesuaian dengan kemampuan siswa
- 3) Tanpa adanya rasa ingin tau dan keinginan untuk memecahkan masalah maka keberlangsungan pembelajaran kurang maksimal.

Guru juga menjadi faktor penting dalam keberlangsungan pembelajaran yang menerapkan model PBL, apabila guru sebagai fasilitator memberikan pembinaan yang tidak memadai maka akan menghalangi siswa untuk menguasai keterampilan yang dibutuhkan untuk berperan aktif dan belajar secara mandiri. Hal ini dipertegas oleh Haerullah dan Hasan (2017) bahwa pembelajaran berbasis masalah harus didukung oleh kemampuan guru yang mampu mendorong kerjasama kelompok secara efektif, atau dengan kata lain guru mampu memotivasi siswa dengan baik. Kelemahan pembelajaran berbasis masalah yang lain yaitu tidak

dapat diterapkan dalam semua mata pelajaran karena ada beberapa materi yang mengharuskan guru berperan aktif, PBL lebih cocok untuk pembelajaran yang mewajibkan penguasaan keterampilan berpikir kritis, membutuhkan waktu yang tidak sedikit dan sulit diterapkan apabila siswa memiliki tingkat keragaman yang tinggi.

Berdasarkan pendapat berbagai ahli dapat ditarik kesimpulan bahwa kelebihan model pembelajaran PBL terletak pada kemampuannya mendorong siswa berpikir kritis dan kreatif melalui pemecahan masalah yang nyata dan relevan dengan kehidupan sehari-hari. Model ini juga mengembangkan keterampilan kolaborasi, karena siswa bekerja dalam kelompok untuk menemukan solusi, berbagi ide, dan saling belajar. Selain itu, PBL memungkinkan siswa untuk memperdalam pemahaman terhadap materi pelajaran, karena mereka tidak sekedar menghafal informasi, tetapi juga belajar mengaplikasikannya dalam situasi nyata. Dengan pendekatan ini, siswa menjadi lebih mandiri dan memiliki motivasi belajar yang lebih tinggi, karena mereka terlibat aktif dalam proses belajar dan merasa bertanggung jawab atas hasil pembelajaran mereka. Sementara kelemahan dari

model pembelajaran PBL yaitu memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan pembelajaran konvensional, karena siswa perlu mengeksplorasi, menganalisis, dan menemukan solusi masalah secara mendalam. Selain itu, guru dituntut memiliki keterampilan khusus dalam merancang masalah yang relevan dan membimbing siswa tanpa terlalu mendominasi proses belajar.

PBL mendorong siswa untuk berpikir kritis dan memecahkan masalah nyata, termasuk yang berkaitan dengan isu lingkungan dan penggunaan bahan kimia yang lebih aman. Dalam proses pembelajaran, siswa diajak untuk menemukan solusi yang tidak hanya efektif secara ilmiah, tetapi juga ramah lingkungan, sejalan dengan prinsip *Green Chemistry* yang menekankan pengurangan limbah, penggunaan bahan baku yang dapat diperbarui, serta minimalisasi dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan. Dengan demikian, PBL tidak hanya meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa tetapi juga saling berkaitan dalam membentuk kesadaran siswa terhadap praktik kimia yang lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan.

3. *Green Chemistry*

a. Pengertian *Green Chemistry*

Dua dekade terakhir, *Green Chemistry* terus mengalami kemajuan yang pesat karena gagasan ini dapat melanjutkan perkembangan kimia dengan prinsip berkelanjutan (Ardila-Fierro dan Hernández, 2021). Program pembangunan berkelanjutan akan bergantung pada produk dan proses kimia yang dirancang mengikuti prinsip-prinsip yang ramah lingkungan. Sifat-sifat yang melekat pada proses kimia perlu dipertimbangkan sejak tahap awal, perancangan hingga dampak yang ditimbulkan dari produk akhir, hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui prosesnya berkelanjutan atau tidak, beracun, dan presisten serta mudah terurai di lingkungan. Desain proses, produk dan dampak di atas merupakan bahasan dalam kimia hijau (*Green Chemistry*) (Zimmerman *et al.*, 2020).

Pendekatan *Green Chemistry* dalam pembelajaran dapat diimplementasikan dengan menghubungkan langsung objek/fenomena nyata di sekitar yang mendukung kelestarian lingkungan dan mencegah limbah atau polusi (Risna, Hasan, & Supriatno, 2019). Pendapat tersebut diperkuat oleh Rosita, Sudarmin, & Marwoto (2014) bahwasanya

dengan melibatkan siswa dalam aktifitas yang berkaitan langsung dengan lingkungan, pendekatan *green chemistry* berpotensi meningkatkan nilai konservasi siswa.

Tujuan kimia hijau (*Green Chemistry*) adalah untuk mengurangi bahaya di seluruh tahapan siklus hidup. Bahaya ini memiliki kemampuan untuk menimbulkan akibat buruk terhadap manusia dan lingkungan. Bahaya yang ditimbulkan oleh suatu bahan kimia dapat dirancang dengan meminimalkan sifat toksisitas maupun bahaya fisiknya.

Tiga poin utama yang menjadi dasar *Green Chemistry* dapat diringkas sebagai berikut (Anastas dan Eghbali, 2010):

1. Desain kimia ramah lingkungan di seluruh tahapan siklus kimia
2. *Green chemistry* berupaya merancang produk dan proses kimia dengan mengurangi resiko bahaya
3. *Green Chemistry* sebagai sistem prinsip desain yang baru

b. Prinsip *Green Chemistry*

Anastas dan Warner (1998) merancang prinsip GC dengan 12 prinsip seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Prinsip *Green Chemistry*

No	Prinsip	Penjelasan
1	<i>Prevention</i> (Pencegahan)	Prinsip yang didasarkan pada pencegahan timbulnya limbah daripada mengolah atau membuang sampah.
2	<i>Atom economy</i> (Ekonomi atom)	Metode sintesis yang dirancang untuk memaksimalkan penggabungan semua bahan menjadi produk akhir. Tranformasi kimia bersifat ekonomis karena 100% atom dalam reaktan tetap berada dalam produk yang diinginkan.
3	<i>Less hazardous chemical synthesis</i> (Sintesis bahan kimia yang tidak terlalu berbahaya)	Menciptakan sintetik kimia yang dirancang untuk meminimalkan toksisitas terhadap kesehatan manusia dan lingkungan
4	<i>Designing safer chemicals</i> (Merancang bahan kimia yang aman)	Produk kimia harus dirancang untuk menjaga fungsinya sekaligus mengurangi tingkat toksisitasnya.
5	<i>Safer solvents and auxiliaries</i> (Pelarut yang lebih aman)	Meminimalisasi penggunaan pelarut dan penggantian pelarut berbahaya dengan pelarut yang lebih aman.
6	<i>Design for energy efficiency</i>	Kebutuhan energi dalam proses kimia harus diminimalkan secara bijak
7	<i>Use of renewable feedstocks</i>	Jika memungkinkan, bahan baku yang digunakan sebaiknya bersifat terbarukan dan tidak mudah habis

No	Prinsip	Penjelasan
8	<i>Reduce derivatives</i>	Proses derivatisasi yang tidak diperlukan sebaiknya dihindari karena membutuhkan reagen tambahan dan berpotensi menghasilkan limbah
9	<i>Catalysis</i>	Penggunaan reagen katalitik untuk mempercepat reaksi.
10	<i>Design for degradation</i>	Produk kimia perlu dirancang sehingga setelah digunakan mudah terurai
11	<i>Real-time analysis for pollution prevention</i>	Pengembangan metodologi analitis mampu mengendalikan proses untuk mencegah munculnya zat berbahaya
12	<i>Inherently safer chemistry for accident prevention</i>	Pemilihan zat dan bentuk zat dalam proses kimia harus diperhatikan dengan mengurangi resiko kecelakaan

Berdasarkan penjelasan diatas maka penerapan prinsip *green chemistry* dalam penelitian ini mencakup prinsip mencegah timbulnya limbah, sintesis bahan kimia yang tidak terlalu berbahaya, merancang bahan kimia yang aman, desain untuk efisiensi energi, penggunaan bahan baku terbarukan, penggunaan katalisis, dan desain untuk degradasi.

Penerapan model PBL berbasis *Green Chemistry* memberikan pengalaman belajar yang menuntut siswa untuk berpikir analitis dan reflektif dalam menyelesaikan permasalahan kimia yang

berkaitan dengan lingkungan. Melalui pendekatan ini, siswa tidak hanya memahami konsep teori, tetapi juga belajar mengidentifikasi masalah, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, serta mengambil keputusan berdasarkan prinsip keberlanjutan. Proses ini melatih mereka untuk berpikir kritis dalam menilai dampak suatu reaksi kimia, memilih bahan yang lebih ramah lingkungan, dan merancang metode yang lebih efisien

4. Keterampilan Berpikir Kritis

a. Pengertian Keterampilan Berfikir Kritis

Keterampilan berfikir kritis merupakan salah satu faktor yang mendukung keberhasilan proses pembelajaran (Wayudi, Suwatno, & Santoso, 2020). Berpikir kritis ialah berpikir logis dan masuk akal dalam mengambil suatu keputusan yang diyakini dan hendak dilakukan (Ennis, 1985).

Kemampuan berpikir kritis harus dilatih secara terus menerus karena pada dasarnya kemampuan setiap orang dalam berpikir kritis itu berbeda. Mengembangkan keterampilan berfikir kritis akan memperdayakan siswa untuk menjadi manusia yang berpikiran adil dan demokratis (Dewey, 2022). Keterampilan berfikir kritis ini dapat dimulai dengan memotivasi siswa untuk secara aktif dan terus-

menerus mempertimbangkan suatu masalah berdasarkan informasi yang didapatkan. Banyak para ahli yang setuju dengan pemikiran Dewey bahwa berpikir kritis dimulai dari keterlibatan siswa terhadap masalah, sebagai contoh Sternberg (1986) menggambarkan berpikir kritis sebagai proses mental yang dimanfaatkan untuk menyelesaikan masalah, mengambil keputusan, dan memahami konsep-konsep baru.

Watson dan Glaser (2010) menganalisis kriteria bernalar dan mengungkapkan argumentasi yang dimiliki oleh seseorang yang mampu berfikir kritis melibatkan tiga aspek yaitu:

1. Menanggapi berbagai permasalahan, seseorang yang memiliki keterampilan berpikir kritis mampu menganalisis masalah secara mendalam, sehingga tidak mudah menerima informasi tanpa pertimbangan yang matang
2. Memiliki cara berpikir yang logis
3. Cakap dan terampil dalam menggunakan metode berpikir kritis

Berpikir kritis adalah proses analisis terhadap masalah yang muncul selama pembelajaran sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai (Ridwan, 2021).

Kemampuan berpikir kritis pada siswa terlihat dari kemampuannya dalam mengidentifikasi isu atau persoalan yang muncul dengan tajam, kemudian dianalisis dengan dukungan data dan informasi yang valid kemudian dapat menarik sebuah kesimpulan. Keterlibatan proses mental juga mempengaruhi keterampilan berpikir kritis seseorang seperti menerima, memproses, menganalisis, dan menganalisis informasi untuk memperoleh keputusan dalam memecahkan masalah (Fitriani dan Irawan, 2019).

Berdasarkan pandangan yang dikembangkan oleh para ahli, dapat disimpulkan bahwa berpikir kritis merupakan keterampilan yang sangat diperlukan oleh siswa untuk memecahkan suatu masalah dan mendukung proses pembelajaran sehingga siswa dapat mengambil suatu keputusan yang dilandaskan pada hasil berpikir secara logis.

b. Indikator Berpikir Kritis

Keterampilan berpikir kritis merupakan suatu tahapan yang kompleks dan mencakup berbagai kemampuan. Kemampuan tersebut diantaranya yaitu menganalisis gagasan dan argumen, kemudian dilanjutkan dengan melakukan penilaian secara logis berdasarkan

bukti yang diperoleh. Keterampilan berpikir kritis juga melibatkan pengambilan keputusan yang masuk akal dan dapat dibenarkan berdasarkan bukti yang tepat serta mampu menyajikan hasil penalaran dengan jelas dan sistematis. Ennis (1985) menyampaikan pandangannya mengenai indikator berpikir kritis yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Menyampaikan penjelasan sederhana, yaitu seperti mengarahkan pertanyaan, menganalisis argumen, serta mengajukan dan menjawab pertanyaan.
2. Mengasah keterampilan dasar yang melibatkan penilaian informasi secara rasional dan evaluasi terhadap laporan hasil observasi
3. Menyimpulkan, mampu membuat dan menentukan kesimpulan atau hasil pertimbangan
4. Memberikan penjelasan, memberikan penjelasan terhadap suatu istilah dan mengidentifikasi asumsi.
5. Membuat perencanaan dan memilih metode yang efektif, serta memilih langkah yang sesuai untuk berkolaborasi dengan orang lain

Penilaian keterampilan berpikir kritis juga mencakup beberapa indikator seperti yang dijelaskan oleh Facione (1992) pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Indikator berpikir kritis

No	Indikator	Penjelasan
1	Interpretasi	Memahami dan mengungkapkan gagasan dari suatu situasi atau peristiwa dengan mampu menguraikan dan memperjelas suatu makna
2	Analisis	Mengidentifikasi hubungan antara pernyataan, konsep, dan representasi lain untuk menyampaikan pendapat. Keterampilan dalam analisi yaitu memeriksa, mengenali pendapat, dan menganalisis argumen
3	Evaluasi	Menilai kredibilitas pernyataan yang diperoleh dari pengalaman, keyakinan dan pendapat seseorang. Keterampilan dalam evaluasi meliputi penilaian secara logis
4	Inferensi	Mengidentifikasi unsur yang diperlukan untuk membuat kesimpulan yang logis, menyusun hipotesis, dan mempertimbangkan informasi yang relevan sehingga dapat dipertanggungjawabkan.
5	Penjelasan	Kemampuan menyajikan hasil penalaran seseorang dengan yakin dan sistematis. Keterampilan dalam tahap ini yaitu memberikan gambaran secara menyeluruh, menyatakan hasil, dan mendukung prosedur
6	Regulasi diri	Mengawasi atau memantau aktivitas kognitif seseorang dengan melihat gagasan yang dihasilkan khususnya menerapkan keterampilan dalam analisis

Indikator berpikir kritis yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada pendapat Facione yang mencakup interpretasi, analisis, inferensi, penjelasan, dan regulasi diri. Kelima indikator tersebut dibutuhkan untuk bisa berpikir secara kritis sehingga dapat menghasilkan pemikiran yang analitis dan sistematis dalam proses pemecahan masalah. Keterampilan berpikir kritis yang digunakan dalam penelitian ini diterapkan dalam model pembelajaran PBL berbasis *Green Chemistry* pada materi termokimia.

Keterampilan berpikir kritis membantu siswa dalam menganalisis data, mengevaluasi solusi, dan menghubungkan konsep dengan fenomena nyata, terutama dalam memahami materi termokimia yang mempelajari perubahan energi dalam reaksi kimia, faktor yang memengaruhi entalpi, serta perbedaan antara reaksi eksoterm dan endoterm.

5. Termokimia

Setiap benda di alam semesta menyimpan energi yang dapat dikeluarkan ketika benda tersebut bergerak atau berubah bentuk. Menurut hukum kekekalan energi, energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, melainkan dapat mengalami transformasi ke bentuk lainnya. Sebagai contoh energi

listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian dapat diubah menjadi energi gerak, seperti pada motor listrik. Proses ini menunjukkan bahwa energi dapat bertransformasi tanpa pernah hilang, hanya berubah bentuk.

Biofuel sebagai Bahan Baru dan Terbarukan



Gambar 2.2 Biofuel sebagai Sumber Energi Terbarukan

Biofuel adalah kategori bahan bakar baru dan terbarukan yang dibuat dari bahan organik seperti tanaman, alga, dan limbah organik, membuatnya memiliki prospek yang menjanjikan menuju masa depan energi yang lebih bersih dan hijau bagi keberlanjutan lingkungan. Pertanyaannya adalah bagaimana energi yang tersimpan dalam biomassa dikonversi menjadi biofuel, dan apa implikasinya terhadap hukum kekekalan energi? Yuk diskusikan dengan temanmu

Simak penjelasan lengkap terkait bahan bakar biofuel pada link berikut: <https://pse.ugm.ac.id/biofuel-dari-biomassa/>

Prinsip *green chemistry* yang berkaitan dengan biofuel adalah penggunaan bahan baku terbarukan (bersumber dari bahan organik seperti jagung, tebu atau alga), proses produksi yang aman (teknologi enzim atau mikroba dalam proses fermentasi), mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya dan mencegah terjadinya pencemaran.

Reaksi kimia pada umumnya melibatkan penyerapan atau pelepasan energi dalam bentuk panas. Termokimia adalah sub cabang kimia yang fokus pada analisis hubungan antara energi panas dan perubahannya selama reaksi berlangsung (Chang dan Overby, 1986). Kalor sebagai bentuk energi, dapat diserap atau dilepaskan dari suatu zat, dan pengukurannya memungkinkan analisis perubahan energi.

a. Energi dan Entalpi

Perpindahan energi dalam reaksi kimia berkaitan erat dengan dua hal yaitu sistem dan lingkungan. Sistem dalam konteks ini merujuk pada bagian yang dianalisis atau menjadi fokus dalam suatu reaksi atau eksperimen, sementara lingkungan adalah bagian alam semesta di luar sistem yang mempengaruhi atau dipengaruhi oleh

sistem tersebut. Sebagai contoh dalam reaksi antara logam kalsium dengan air, sistem terdiri dari logam kalsium dan air yang ada dalam gelas kimia. Sementara itu, lingkungan meliputi gelas kimia, suhu udara, tekanan udara di sekitar reaksi.

Pengukuran kalor dan kerja memungkinkan untuk menghitung perubahan energi yang dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$\Delta E = q + w$$

Keterangan:

ΔE = perubahan energi dalam (J)

q = jumlah kalor yang diserap atau dilepas sistem

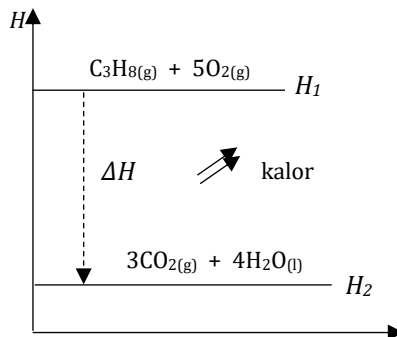
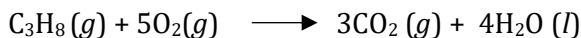
(J) w = kerja yang dilakukan sistem (J)

b. Reaksi Eksoterm dan Endoterm

Kalor dapat mengalami perpindahan dari sistem atau lingkungan akibat adanya perbedaan suhu. Proses perpindahan ini menghasilkan dua jenis reaksi kimia yang berbeda, yaitu reaksi eksotermik dan endotermik. Reaksi kimia yang bersifat eksotermik akan terjadi ketika sistem melepaskan kalor ke lingkungan sehingga menyebabkan penurunan energi sistem dan kenaikan suhu di sekitar reaksi. Pada reaksi ini,

energi akhir (E_2) lebih kecil dari energi awal (E_1), sehingga menghasilkan perubahan energi (ΔE) yang negatif. Contohnya reaksi eksotermik adalah pembakaran.

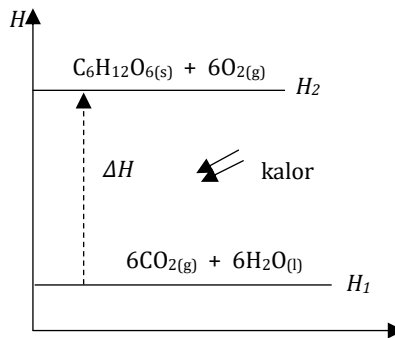
Energi akhir (H_2) dalam reaksi eksotermik lebih kecil daripada energi awal (H_1) akibat pelepasan kalor oleh sistem, yang menyebabkan perubahan entalpi ΔH bernilai negatif.



Gambar 2.3 Grafik perubahan entalpi reaksi eksotermik

Reaksi endotermik terjadi ketika sistem menyerap kalor dari lingkungan, yang menyebabkan energi sistem meningkat dan suhu lingkungan menurun. Energi setelah reaksi (E_2) lebih besar daripada energi awal (E_1), menghasilkan perubahan energi (ΔE) yang positif.

Energi akhir (H_2) dalam reaksi endotermik lebih besar daripada energi awal (H_1) akibat penyerapan kalor oleh sistem, yang menyebabkan perubahan entalpi ΔH bernilai positif.



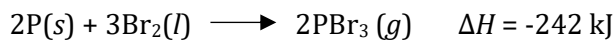
Gambar 2.4 Grafik perubahan entalpi reaksi endotermik

Contoh penerapan reaksi eksoterm dan endoterm dalam kehidupan sehari-hari yang menerapkan prinsip *green chemistry*. Pada reaksi endotermik contoh penerapan yang sering kita jumpai adalah proses fotosintesis dimana dalam prosesnya menyerap energi dari sinar matahari untuk menghasilkan glukosa dan oksigen. Penerapan prinsip *green chemistry* pada proses fotosintesis yaitu pemanfaatan energi terbarukan yaitu menggunakan energi cahaya matahari dan efisiensi energi.

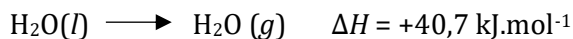
Contoh penerapan reaksi eksoterm dengan menerapkan prinsip *green chemistry* salah satunya yaitu pembakaran bahan bakar biofuel untuk menghasilkan energi. Prinsip *green chemistry* yang terdapat pada proses ini yaitu efisiensi energi (memanfaatkan panas yang dihasilkan untuk menggerakkan mesin atau turbin), penggunaan bahan baku terbarukan (menggunakan limbah biomassa atau tanaman), mengurangi limbah (proses pembakaran yang lebih bersih).

c. Persamaan Reaksi Termokimia

Persamaan termokimia adalah persamaan reaksi kimia yang melibatkan sejumlah kalor yang dilambangkan dengan ΔH . Pada reaksi eksotermik yang melepaskan kalor, ΔH bernilai negatif. Sedangkan pada reaksi endotermik yang menyerap kalor, ΔH akan berniali positif. Berikut adalah beberapa contoh persamaan termokimia.



Artinya, reaksi antara 2 mol posporus merah dengan 3 mol bromin akan melepaskan kalor reaksi sebesar 242 kJ (ΔH negatif).



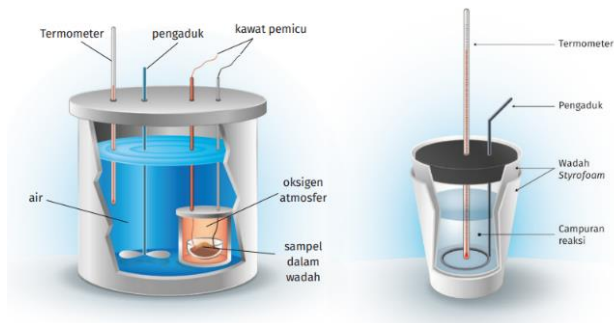
d. Perubahan Entalpi dalam Keadaan Standar

Entalpi reaksi tidak dapat diukur secara langsung, sebagaimana energi mutlak, dan yang bisa diketahui hanyalah perubahannya. Perubahan entalpi standar dihitung pada suhu 25°C dan dilambangkan dengan ΔH° . Berikut beberapa perubahan entalpi standar:

1. Perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH°_f)
2. Perubahan entalpi penguraian standar (ΔH°_d)
3. Perubahan entalpi pembakaran standar (ΔH°_c)
4. Perubahan entalpi pelarutan standar (ΔH°_s).

e. Penentuan Perubahan Entalpi

1. Kalorimetri



Gambar 2.5 Kalorimeter bom dan kalorimeter sederhana

Pengukuran kalor yang terjadi dalam proses fisika atau kimia dilakukan dengan alat kalorimeter, dengan kegiatan pengukurannya disebut dengan kalorimetri. Berdasarkan hukum kekekalan energi, kalor yang dilepaskan oleh suatu benda akan diserap oleh benda lainnya. Meskipun kalor tidak dapat diukur langsung, perubahan suhu dapat diperoleh dengan bantuan termometer.

Perangkat kalorimeter bom dibuat dengan spesifikasi tertentu untuk menghindari kehilangan atau masuknya kalor dari lingkungan, sehingga:

$$q_{reaksi} = -q_{kalorimeter}$$

Kapasitas kalor adalah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu benda sebesar 1°C. Antara suhu dan kalor dihubungkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$q = C \cdot \Delta T$$

Keterangan:

q = kalor yang dilepaskan/diserap (J)

C = kapasitas kalor (J.°C⁻¹)

ΔT = perubahan suhu (°C)

Kalor jenis adalah jumlah kalor yang dibutuhkan oleh 1 gram zat untuk menaikkan suhu

sebesar 1°C. Untuk menghitung kalor pada suatu zat berdasarkan massa, maka bisa menggunakan persamaan berikut.

$$q = m.c. \Delta T$$

Keterangan:

q = kalor yang dilepaskan/diserap (J)

m = massa (g)

c = kalor jenis (J.g⁻¹.°C⁻¹)

ΔT = perubahan suhu (°C)

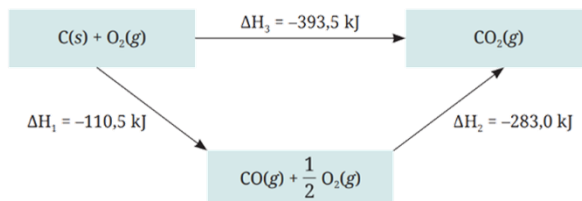
2. Hukum Hess

Fungsi keadaan entalpi hanya bergantung pada kondisi awal dan akhir reaksi, tanpa memperhatikan rangkaian langkah-langkah yang ditempuh selama reaksi berlangsung. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, perubahan entalpi (ΔH) dapat dihitung dengan mengukur kalor dalam kondisi stabil, meskipun tidak semua reaksi memungkinkan pengukuran perubahan kalor secara langsung.

Seorang ilmuwan kimia bernama Germain Henri Hess, memodifikasi persamaan termokimia untuk menghitung perubahan entalpi (ΔH) yang kemudian dikenal dengan hukum Hess.

“Apabila sebuah reaksi berlangsung dalam dua tahap reaksi atau lebih maka perubahan entalpi terhadap reaksi tersebut akan bernilai sama dengan jumlah perubahan entalpi dari seluruh tahapan yang terjadi.”

Diagram siklus atau diagram tingkat energi dapat digunakan untuk menggambarkan Hukum Hess, seperti yang dapat dilihat pada reaksi pembakaran karbon berikut.



Gambar 2.6 Diagram siklus pembentukan CO₂

Gambar di atas merupakan diagram siklus dari reaksi pembakaran karbon. Dapat kalian lihat bahwa harga ΔH_3 merupakan penjumlahan dari ΔH_1 dan ΔH_2 .

3. Energi Ikatan

Energi ikatan rata-rata adalah energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dalam molekul yang berbentuk gas. Reaksi kimia adalah proses transformasi reaktan menjadi zat lainnya (produk). Dalam proses ini, ikatan pada reaktan

diputus dan ikatan pada produk terbentuk. Energi terlibat selama proses pemutusan dan pembentukan ikatan tersebut. Selisih energi antara proses pemutusan dan pembentukan ikatan menghasilkan nilai perubahan entalpi reaksi (ΔH), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta H_{reaksi} = \sum \text{energi ikatan putus} + \sum \text{Energi Ikatan terbentuk}$$

Penerapan prinsip *green chemistry* pada sub pengukuran kalor dan entalpi menggunakan kalorimeter dapat diterapkan saat kegiatan praktikum. Pada praktikum hukum hess, pentukan entapi pada reaksi eksoterm dan endoterm dapat memanfaatkan bahan-bahan terbarukan seperti garam dapur (reaksi endoterm), kapur sirih (reaksi eksoterm). Pendekatan ini juga dapat diterapkan selama proses praktikum dengan memperhatikan buangan yang dihasilkan, yaitu dengan diatur dan menggunakan prosedur yang sesuai sehingga tidak membahayakan praktikan.

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi untuk membandingkan penelitian yang akan dilakukan. Hal ini bertujuan untuk menghindari duplikasi dan kesamaan penelitian. Berikut beberapa penelitian terkait yang dapat dijadikan referensi.

Saputri dan Suprihatiningrum (2023) mengukur keterampilan berpikir kritis dan *green chemistry skills* pada materi asam basa dengan menggunakan model pembelajaran PBL. Metode kualitatif digunakan dalam penelitian ini yaitu melalui teknik *scoping review* yang melibatkan 18 jurnal dari berbagai negara. Berdasarkan analisis terhadap jurnal yang diteliti, penerapan model PBL dapat berkontribusi dalam pengembangan keterampilan berpikir kritis dan pemahaman kimia hijau. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada metode penelitian yang digunakan dan penerapan model pembelajaran yang hanya berfokus pada penerapan PBL saja, sedangkan penelitian ini menerapkan model PBL berbasis *green chemistry* dan hanya berfokus pada pengukuran keterampilan berpikir kritis siswa.

Penelitian yang dilakukan oleh Lidyawati, Gani, & Khaldun (2017) bertujuan untuk mengukur efektivitas model pembelajaran PBL terhadap peningkatan hasil

belajar dan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi larutan penyangga. Penelitian ini mengadopsi desain *pre-eksperimental* dengan model *one group pretest-posttest*, dengan instrumen meliputi soal pilihan ganda dan angket tanggapan siswa. Hasil analisis data menunjukkan bahwa penerapan model PBL efektif dalam meningkatkan hasil belajar dan keterampilan berpikir kritis siswa, dengan nilai t_{hitung} lebih besar dari t_{tabel} ($18,426 > 1,717$). Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah metode penelitian yang digunakan, penerapan prinsip *green chemistry* sebagai variabel pendukung, dan materi yang diterapkan yaitu termokimia. Penelitian ini menggunakan desain *quasi eksperimen* dan penerapan model PBL berbasis *green chemistry* dalam mengukur keterampilan berpikir kritis siswa.

Silaban *et al.* (2021) mengaplikasikan model pembelajaran PBL pada materi laju reaksi dengan menggunakan LKPD untuk mengukur sejauh mana model ini efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar. Dalam penelitian ini, diterapkan metode kuantitatif dengan desain eksperimen semu, di mana instrumen penilaian melibatkan tes pilihan ganda dan lembar observasi untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil analisis menunjukkan bahwa

model PBL dengan penggunaan LKPD berkontribusi secara positif terhadap peningkatan hasil belajar dan keterampilan berpikir kritis siswa. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penerapan model PBL dan variabel terikat yang diukur. Penelitian ini menerapkan model PBL berbasis *green chemistry* tanpa penggunaan LKPD dan hanya mengukur keterampilan berpikir kritis siswa.

Penelitian Zahro dan Lutfianasari (2024) dilakukan untuk mengatasi pembelajaran konvensional. Penelitian ini menerapkan model PBL pada materi hidrolisis garam untuk mengetahui kemampuan berpikir kritis dan aktivitas belajar siswa di MAN 1 Kota Semarang. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan jenis *quasi experiment*. Instrumen yang digunakan berupa soal tes dan observasi aktivitas belajar. Data hasil penelitian melalui analisis uji t kemampuan berpikir kritis menunjukkan bahwa model PBL memiliki dampak positif terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis dan aktivitas belajar siswa. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada penerapan model pembelajaran, materi yang digunakan dan variabel yang akan diukur. Penelitian yang akan dilakukan mengembangkan inovasi pembelajaran PBL berbasis *green chemistry*. Materi

termokimia merupakan materi yang digunakan dalam penelitian yang akan dikembangkan dan pengukuran penelitian hanya berfokus pada keterampilan berpikir kritis saja.

Penelitian yang dilakukan oleh Ariyatun dan Octavianelis (2020) bertujuan untuk menilai pengaruh model PBL yang dipadukan dengan STEM terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa di SMA N 1 Weleri. Penelitian ini mengaplikasikan desain kuantitatif dengan kelompok kontrol pretest-posttest. Instrumen yang digunakan berupa 20 soal pilihan ganda yang hasilnya dihitung untuk uji t dan N-gain. Berdasarkan hasil analisis, penerapan model PBL terintegrasi STEM terbukti secara signifikan mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa, terbukti dengan nilai t_{hitung} 8,23 dan t_{tabel} 1,98 pada tingkat signifikansi 5%. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada inovasi model pembelajaran, dalam penelitian yang akan dilakukan model PBL diinovasikan dengan penerapan prinsip *green chemistry* sedangkan dalam penelitian ini dipadukan dengan pendekatan STEM.

Beberapa kesamaan dan perbedaan ditemukan antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya. Kesamaannya terletak pada

penerapan model PBL untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Adapun kebaruan dari penelitian ini yaitu memberikan inovasi terhadap model pembelajaran yang digunakan yaitu dengan berorientasi pada penerapan prinsip *Green Chemistry*. Penelitian ini tidak hanya menguji keefektivan model PBL berbasis *green chemistry*, tetapi juga mengukur sejauh mana efek yang dihasilkan.

C. Kerangka Berpikir

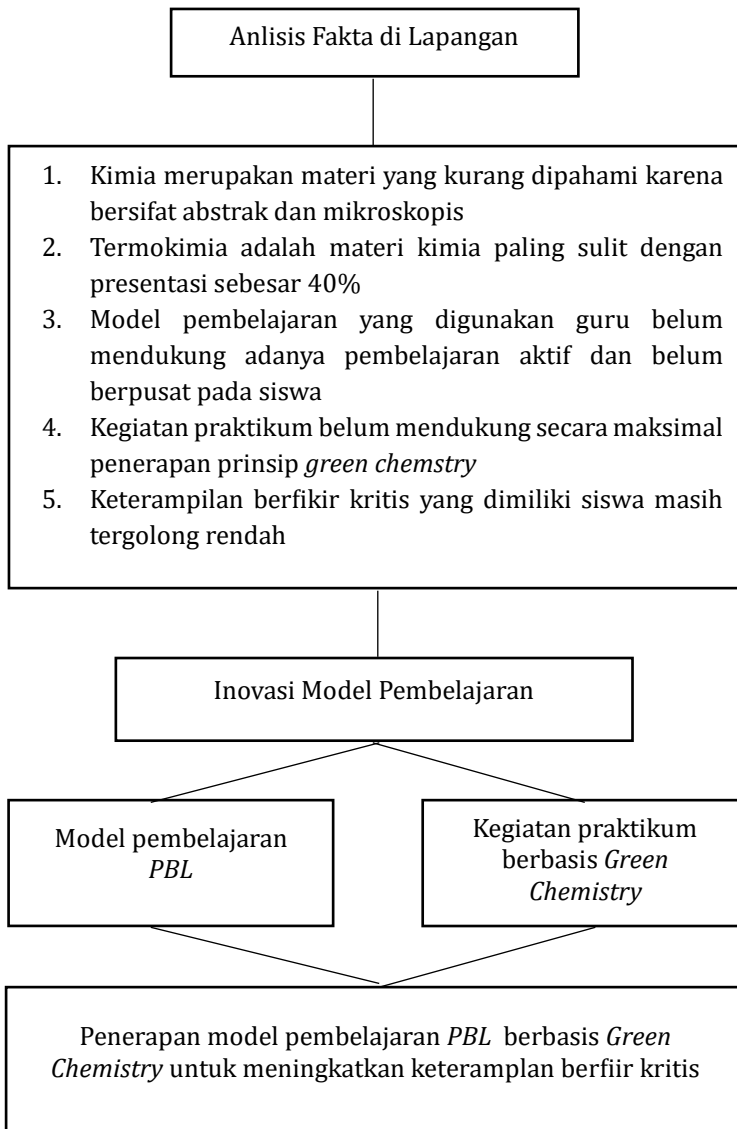
Keterampilan berpikir kritis merupakan kunci dalam menghadapi tantangan abad 21 yang secara signifikan terus berubah. Keterampilan berfikir kritis termasuk dalam keterampilan yang dibutuhkan oleh siswa dalam kegiatan pembelajaran khususnya pada materi kimia. Berpikir kritis dapat mendorong kemampuan siswa untuk menginterpretasi dan menganalisis sehingga informasi yang diperoleh atau dihasilkan dapat digunakan dasar untuk pengambilan keputusan atau pemecahan masalah.

Kimia termasuk mata pelajaran yang dianggap sulit karena bersifat abstrak dan mikroskopis, ketika proses pembelajaran banyak dari siswa kurang memperhatikan tahapan penyelesaian dan hanya mementingkan hasil akhir sehingga konsep berpikir dalam menyelesaikan masalah kurang maksimal yang menyebabkan tingkat berpikir kritis

yang dimiliki oleh siswa rendah. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil observasi di SMA N 03 Semarang pada kelas XII, materi termokimia termasuk materi yang paling sulit dengan presentasi tertinggi mencapai 40%. Selain itu, guru belum sepenuhnya menerapkan model pembelajaran aktif sehingga kegiatan pembelajara di kelas terkesan kurang hidup, padahal penerapan kurikulum merdeka saat ini menuntut kegiatan pembelajaran yang berbasis *student centered*.

Peran guru sangatlah krusial dalam menyusun dan mengelola pembelajaran agar tujuan yang diinginkan dapat tercapai. Salah satu pendekatan pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis adalah PBL. Dalam pembelajaran PBL, kegiatan praktikum dapat digunakan untuk mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan. Penerapan prinsip *green chemistry* menjadi cara untuk mewujudkan tujuan tersebut, dengan meminimalkan atau bahkan menghilangkan penggunaan zat kimia yang berisiko tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa dengan mengaplikasikan model PBL berbasis *green chemistry* pada materi termokimia. Kerangka berpikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kerangka Berpikir

D. Hipotesis Penelitian

Kerangka berpikir yang telah dijelaskan mengarah pada hipotesis bahwa model PBL berbasis *green chemistry* efektif terhadap keterampilan berpikir kritis siswa.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode penelitian kuantitatif untuk menguji hipotesis yang telah diajukan. Pengumpulan data menggunakan instrumen tes dan data yang dihasilkan berupa angka yang kemudian dianalisis menggunakan statistik (Sugiyono, 2015). Penelitian ini menggunakan desain *quasi experimental design* dengan pendekatan *nonequivalent control group design*. Penelitian ini dirancang dengan memberikan *pretest* dan *posttest*. Kedua tes tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan kemampuan siswa sebelum dan setelah menerima perlakuan.

Dua kelompok kelas berpartisipasi dalam penelitian ini, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, pembelajaran dilaksanakan dengan model PBL berbasis *green chemistry*, sementara kelas kontrol menggunakan metode ceramah sebagai model pembelajaran. Informasi lengkap mengenai desain penelitian terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Desain Peneltitian

Kelas	<i>Pre-test</i>	Perlakuan	<i>Post-test</i>
Eksperimen	O ₁	X ₁	O ₂
Kontrol	O ₃	X ₂	O ₄

(Sugiyono, 2015)

Keterangan:

- O₁ : *Pre-test* kelas eksperimen
- O₃ : *Pre-test* kelas kontrol
- O₂ : *Post-test* kelas eksperimen
- O₄ : *Post-test* kelas kontrol
- X₁ : Perlakuan pada kelas eksperimen dengan menerapkan model pembelajaran *problem based learning* berbasis *green chemistry*
- X₂ : Perlakuan pada kelas kontrol dengan model *teacher center learning*

B. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di SMA N 03 Semarang dengan siswa kelas XI semester gasal tahun ajaran 2024/2025 Kota Semarang.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester gasal yaitu bulan Agustus sampai September tahun ajaran 2024/2025.

C. Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi merupakan objek/subjek dengan karakteristik dan standar tertentu yang di generalisasi oleh peneliti untuk dianalisis, sehingga menghasilkan data yang digunakan untuk analisis dan menarik kesimpulan (Sugiyono, 2015). Siswa kelas XI 1- XI 9 SMA N 03 Semarang tahun ajaran 2023/2024 digunakan sebagai populasi dalam penelitian ini.

Sebagian populasi dengan karakteristik yang sesuai dipilih sebagai sampel dan dijadikan basis data dalam penelitian. Penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling* untuk pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu yang dianggap relevan dengan tujuan penelitian (Sugiyono, 2015). Teknik ini tidak dilakukan secara acak, melainkan berdasarkan pertimbangan yang sengaja supaya sampel yang dipilih benar-benar sesuai dengan kebutuhan penelitian. Populasi dalam penelitian ini terdiri dari 9 kelas, dan dua diantaranya, kelas XI-2 dan XI-3 ditetapkan sebagai sampel berdasarkan karakteristik dan pertimbangan dari guru, yang telah memahami kemampuan siswa selama proses pembelajaran. Selanjutnya dari dua kelas tersebut dibagi menjadi 2 kelas yaitu kelas kontrol dan kelas eksperimen.

Kelas XI-3 dijadikan sebagai kelompok eksperimen, sedangkan kelas XI-2 ditetapkan sebagai kelompok kontrol.

D. Definisi Operasional Variabel

Variabel penelitian mengacu pada karakteristik atau nilai yang dimiliki oleh objek atau aktivitas yang menunjukkan variasi tertentu. Berikut variabel yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas memainkan peran sebagai pengubah atau pendorong perubahan pada variabel lain. Penelitian ini menggunakan model pembelajaran PBL berbasis *Green Chemistry* sebagai variabel bebas. Model ini adalah sebuah langkah pembelajaran berbasis *green chemistry* yang mendorong siswa untuk berpartisipasi secara aktif untuk memberikan pendapat dan gagasan demi mengasah keterampilan dalam berpikir secara kritis dan memahami materi termokimia dengan baik.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dalam suatu penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu keterampilan berpikir kritis.

E. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

1. Non Tes

a. Angket

Teknik pengumpulan data melalui angket adalah metode yang digunakan untuk memperoleh informasi atau data dari responden dengan menggunakan serangkaian pertanyaan tertulis yang disusun dalam bentuk kuesioner (Sugiyono, 2015). Angket ini digunakan untuk mengetahui kebutuhan siswa dan tanggapan siswa dalam proses pembelajaran.

b. Wawancara

Wawancara dilakukan sebelum penelitian dilakukan, dengan tujuan untuk mengidentifikasi model pembelajaran yang diterapkan guru di kelas. Hasil wawancara ini juga digunakan sebagai acuan awal untuk menilai keterampilan berpikir kritis siswa ketika diberikan suatu permasalahan serta aktivitas belajar sebelum dilakukan penelitian.

c. Dokumentasi

Dokumentasi adalah instrumen non-tes yang digunakan untuk mengumpulkan data melalui berbagai sumber tertulis, visual, atau digital yang sudah tersedia. Penggunaan dokumentasi

memudahkan peneliti dalam menelusuri informasi secara lebih objektif dan sistematis tanpa harus bergantung pada respons langsung dari subjek penelitian.

2. Tes

Tes merupakan salah satu teknik pengumpulan data yang digunakan untuk mengukur kemampuan, pemahaman, dan keterampilan dengan memberikan serangkaian pertanyaan yang harus diselesaikan. Keberhasilan pembelajaran dapat diukur salah satunya dengan menggunakan tes, dimana hasil jawaban tes siswa dijadikan dasar untuk menentukan skor. Instrumen tes merupakan salah satu alat pengumpulan data yang digunakan untuk mengukur keterampilan berfikir kritis siswa. Penilaian dilakukan dengan tes yang diadakan sebelum dan setelah perlakuan pada kelompok eksperimen dan kontrol. Instrumen yang digunakan adalah tes esai analisis (uraian) sebanyak 10 soal. Sebelum tes diterapkan kepada siswa, instrumen ini divalidasi oleh ahli untuk menilai kelayakannya.

F. Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Analisis instrumen dilakukan untuk memastikan kelayakan perangkat tes sebagai alat penelitian. Tujuan adanya uji kelayakan instrumen adalah untuk menilai

instrumen yang digunakan layak dan valid. Penilaian kualitas instrumen dilakukan melalui serangkaian pengujian dan analisis. Analisis instrumen dalam penelitian ini melibatkan uji validitas, uji reliabilitas, analisis tingkat kesukaran soal, serta pengujian daya beda soal.

1. Uji Validitas

a) Validasi Ahli

Validitas merupakan ukuran yang menggambarkan sejauh mana suatu instrumen dapat dianggap valid. Instrumen dikatakan valid jika dapat mengukur variabel yang dimaksud dan menghasilkan informasi yang akurat. Pengukuran keakuratan instrumen pada penelitian ini menggunakan validitas konstruk dan validitas butir soal. Tujuan dari uji validitas isi adalah untuk mengevaluasi kecocokan instrumen terhadap materi yang diajarkan (Sugiyono, 2015). Pengujian validitas isi dapat dilakukan dengan meminta pertimbangan ahli.

Uji validitas ini dilakukan oleh ahli yaitu dosen pendidikan kimia. Dosen melakukan uji validitas untuk menunjukkan kevalidan soal secara keseluruhan. Uji Validasi ahli dihitung berdasarkan metode gregory

dengan bantuan *microsoft excel*. Tabulasi silang dua ahli dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tabulasi silang validitas gregory (dua ahli)

		Ahli 2	
		Kurang relevan	Sangat relevan
Ahli 1	Kurang relevan	A	B
	Sangat relevan	C	D

Uji gregory menggunakan proses tabel silang atau matriks 2x2 untuk mengklasifikasikan setiap butir berdasarkan relevansi dan kesesuaiannya terhadap konstruk. Rumus gregory yang digunakan yaitu sebagai berikut (Gregory, 2015):

$$V_c = \frac{D}{A + B + C + D}$$

Keterangan :

V_c : Validitas isi

A : relevansi rendah dari ahli 1 dan 2

B : relevansi tinggi dari ahli 1 dan rendah dari ahli 2

C : relevansi rendah dari ahli 1 dan tinggi dari ahli 2

D : relevansi tinggi dari ahli 1 dan ahli 2

Nilai koefisien validitas yang didapatkan dikelompokkan sesuai dengan kategorinya yang ditampilkan pada Tabel 3.3:

Tabel 3.3 Kriteria validitas isi instrumen

Koefisien	Kategori
0,8 – 1,0	Validitas sangat tinggi
0,6 – 0,79	Validitas tinggi
0,4 – 0,59	Validitas sedang
0,2 – 0,39	Validitas rendah
0,00 – 0,19	Validitas sangat rendah

(Gregory, 2015)

Kevalidan instrumen yang mengacu pada uji gregory yaitu apabila hasil validitasnya lebih dari 0.75. Setelah instrumen diuji dan dinyatakan valid, langkah selanjutnya adalah mengujikan instrumen tersebut kepada siswa guna mengukur validitas butir soal.

b) Uji Validitas Butir Soal

Pengujian validitas empirik perlu dilakukan sehingga didapatkan validitas butir soal. Instrumen diujikan kepada siswa yang sebelumnya telah menerima materi yang akan diujikan. Instrumen dapat dikatakan valid jika memiliki tingkat validitas tinggi. Tingkat validitas instrumen dapat diketahui melalui analisis validitas menggunakan rumus korelasi *product moment* sebagai berikut:

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

Keterangan:

r_{xy} : angka indeks korelasi *r product momen*

N : banyaknya subyek

ΣXY : jumlah hasil perkalian skor X dan skor Y

ΣX : jumlah seluruh skor X

ΣY : jumlah seluruh skor Y

Keputusan validitas didasarkan pada nilai koefisien korelasi produk momen dengan aduan nilai $r_{hitungl} > r_{tabel}$ pada tingkat signifikansi 5%. Soal dikatakan valid jika hasil analisis dengan SPSS menunjukkan nilai koefisien korelasi yang lebih besar daripada nilai r_{tabel} . Namun, jika koefisien korelasi lebih kecil dari r_{tabel} , maka soal tersebut dianggap tidak valid.

c) Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas adalah pengujian yang mengukur tingkat konsistensi suatu tes yang dihasilkan oleh siswa. Tes dikatakan reliabel apabila memiliki *standart error of measurement* yang rendah dan koefisien reliabilitas yang tinggi. Hasil pengukuran menunjukan konsisten apabila memberikan hasil yang sama pada pengukuran berulang. Uji reliabilitas instrumen dalam penelitian ini diuji menggunakan rumus *cronbach alpha* (Arikunto, 2021).

$$r_{11} = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(1 - \frac{\Sigma \sigma t^2}{\sigma t^2} \right)$$

Keterangan:

r_{11} : reliabilitas instrumen

k : banyaknya butir soal

$\Sigma\sigma$: jumlah varians skor tiap item

σt^2 : varians total (Arikunto, 2021)

Reliabilitas instrumen ditentukan dengan membandingkan koefisien reliabilitas dan nilai r_{tabel} , jika nilai r_{11} melebihi r_{tabel} , instrumen dinyatakan reliabel. Namun, apabila r_{11} kurang dari r_{tabel} , instrumen tersebut dinilai tidak reliabel. Hasil uji reliabilitas dapat dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan rentang nilai *Cronbach's alpha* yang akan memberikan gambaran lebih jelas tentang konsistensi instrumen yang digunakan, seperti dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kriteria Reliabilitas Soal

Koefisien Reliabilitas	Kriteria
$0,80 \leq r \leq 1,00$	Sangat Tinggi
$0,60 \leq r \leq 0,80$	Tinggi
$0,40 \leq r \leq 0,60$	Sedang
$0,20 \leq r \leq 0,40$	Rendah
$0,00 \leq r \leq 0,20$	Sangat Rendah

(Arikunto, 2021)

d) Uji Tingkat Kesukaran Soal

Pengukuran tingkat kesukaran soal digunakan untuk menentukan tingkat kesulitan dari sebuah soal. Analisis tingkat kesukaran soal dilakukan untuk

mengelompokan soal berdasarkan tingkat kesulitannya, seperti mudah, sedang, dan susah dengan tujuan untuk mengevaluasi seberapa sesuai soal tersebut dengan kemampuan siswa. Perhitungan tingkat kesukaran suatu soal ditentukan oleh persamaan berikut (Arikunto, 2021):

$$TK = \frac{\bar{X}}{SMI}$$

Keterangan:

TK : tingkat kesukaran

$\bar{X}$: nilai rata-rata tiap butir soal

SMI : skor maksimum ideal

Kriteria tingkat kesukaran soal ditunjukkan pada Tabel 3.5:

Tabel 3.5 Kriteria tingkat kesukaran soal

No	Rentang	Keterangan
1	0,00 – 0,30	Mudah
2	0,31 – 0,70	Sedang
3	0,71 – 1,00	Sukar

(Arifin, 2009)

e) Uji Daya Pembeda Soal

Daya Pembeda adalah kemampuan suatu soal untuk mengidentifikasi perbedaan antara siswa yang memiliki tingkat kemampuan tinggi dan yang lebih rendah (Sudijono, 2001). Daya beda diukur dengan

menghitung perbedaan antara nilai rata-rata kelompok siswa dengan kemampuan tinggi dan kelompok siswa dengan kemampuan rendah. Semakin besar selisihnya, maka semakin tinggi daya beda soal tersebut (Arikunto, 2021). Berikut rumus yang digunakan:

$$DP = \frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{SMI}$$

Keterangan;

DP : daya pembeda

$\bar{X}_A$: rata-rata skor kelompok atas

$\bar{X}_B$: rata-rata skor kelompok bawah

SMI : skor maksimum ideal

Kriteria daya pembeda ditunjukkan dalam Tabel 3.6:

Tabel 3.6 Kriteria daya pembeda soal

No	Rentang	Keterangan
1	0,00 – 0,20	Kurang
2	0,21 – 0,40	Cukup
3	0,41 – 0,70	Baik
4	0,71 – 1,00	Sangat Baik

(Arikunto, 2021)

G. Teknik Analisis Data

1. Uji Prasyarat

Uji prasyarat dilakukan sebelum menganalisis hipotesis dengan tujuan untuk memeriksa distribusi

sampel penelitian. Berikut uji prasyarat yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Uji Normalitas

Uji normalitas adalah prosedur dalam analisis statistik untuk menentukan data mengikuti distribusi normal atau tidak. Untuk menguji normalitas data, penelitian ini menerapkan uji *Shapiro-Wilk* dengan bantuan program SPSS. Nilai signifikansi *Shapiro-Wilk* digunakan sebagai acuan uji normalitas, kriterianya yaitu (Priyatno, (2013):

- 1) Jika nilai signifikasinya lebih besar dari 0,05, data berdistribusi normal
- 2) Jika nilai signifikasinya kurang dari 0,05, data tidak berdistribusi normal

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas digunakan untuk mengetahui kedua kelompok, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol memiliki varian yang sama atau tidak. Uji homogenitas merupakan prasyarat dalam pengujian hipotesis (Uji-t). Homogenitas varian diuji dengan metode F max, mengingat kedua kelompok memiliki jumlah sampel yang setara. Pengujian dilakukan dengan

memanfaatkan *software* SPSS sehingga diketahui nilai signifikansinya. Adapun kriterianya sebagai berikut:

- 1) Nilai signifikansi $\geq 0,05$ = homogen
- 2) Nilai signifikansi $< 0,05$ = tidak homogen

2. Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji Independent T test. Uji t (uji hipotesis dua pihak) diterapkan untuk menganalisis perbedaan dalam keterampilan berpikir kritis antara kelompok yang diajarkan dengan model PBL berbasis *green chemistry* dan kelompok yang diajarkan melalui model ceramah. Uji-t dalam penelitian ini menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS dengan uji *independent t-test*.

Kriteria pengambilan keputusan untuk mengetahui efektivitas penerapan pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis pada uji ini yaitu sebagai berikut (Priyatno, 2013):

- a. Jika nilai signifikansi $> 0,05$ maka tidak terdapat perbedaan rata-rata keterampilan berpikir kritis antar dua kelas penelitian

- b. Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka terdapat perbedaan rata-rata keterampilan berpikir kritis antar dua kelas penelitian

Adanya perbedaan rata-rata keterampilan berpikir kritis antara dua kelas penelitian menunjukkan bahwa model pembelajaran yang digunakan efektif dalam mengukur keterampilan berpikir kritis. Hal ini terindikasi dari peningkatan hasil tes keterampilan berpikir kritis setelah penerapan model pembelajaran. Hasil peningkatan rata-rata keterampilan berpikir kritis mencerminkan bahwa strategi dan metode yang diterapkan dalam model pembelajaran mampu mendorong siswa untuk mengembangkan kemampuan dalam menganalisis, mengevaluasi, dan memecahkan masalah secara sistematis.

3. Uji *Effect Size*

Effect size adalah ukuran yang menunjukkan sejauh mana pengaruh suatu variabel bebas terhadap variabel terikat atau memberikan informasi tentang kekuatan hubungan antara keduanya. Uji dalam penelitian ini bertujuan untuk mengukur besar efek atau pengaruh dari penerapan model pembelajaran *PBL* berbasis *Green Chemistry* terhadap keterampilan

berpikir kritis siswa. Menghitung besarnya *effect size* dengan menggunakan rumus berikut (Cohen, 2013).

$$ES = \frac{\bar{X}_E - \bar{X}_C}{SD_c}$$

$\bar{X}_E$ merupakan nilai rata-rata *posttest*, $\bar{X}_C$ merupakan nilai rata-rata kelas kontrol dan SD_c merupakan nilai pooled standard deviation.

$$SD \text{ Pooled} = \sqrt{\frac{(N_E - 1)SD_E^2 + (N_C - 1)SD_C^2}{N_E + N_C - 2}}$$

Keterangan:

$SD \text{ Pooled}$: Nilai *pooled standard deviation*

N_E : Jumlah siswa kelas eksperimen

N_C : Jumlah siswa kelas kontrol

SD_E^2 : Standar deviasi kelas eksperimen

SD_C^2 : Standar deviasi kelas kontrol

Kriteria *effect size* dapat dilihat pada Tabel 3.7:

Tabel 3.7 Kriteria *Effect Size*

<i>Effect Size</i>	Interpretasi
$0 < ES \leq 0,4$	Kecil
$0,4 < ES < 0,70$	Sedang
$0,70 < ES < 1,00$	Tinggi
$1,00 \geq ES$	Sangat Tinggi

(Cohen, 2013)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana efektivitas penerapan pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* terhadap keterampilan berfikir kritis siswa. Keterampilan berpikir kritis ini memiliki peran penting dalam mendorong kemampuan siswa untuk memilah informasi yang logis sesuai dengan fakta yang ada. Penelitian ini dilakukan di SMA N 03 Semarang, berlangsung dari tanggal 15 Agustus hingga 13 September 2024. Kurikulum yang diterapkan di SMA N 03 Semarang untuk kelas X sampai XII yaitu kurikulum merdeka.

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif dan dilakukan dengan metode *quasi experiment* sebagai desain utamanya. Pemilihan sampel penelitian dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling*, yang disesuaikan berdasarkan karakteristik dan pertimbangan dari guru, yang telah memahami kemampuan siswa selama proses pembelajaran. Penelitian ini melibatkan dua kelas sebagai sampel, yaitu kelas XI-3 sebagai kelas eksperimen dan kelas XI-4 sebagai kelas kontrol dengan jumlah 36 siswa pada masing-masing kelas.

Pada penelitian ini, kelas eksperimen diberi perlakuan berupa penerapan model pembelajaran PBL berbasis *green chemistry*, sementara kelas kontrol menggunakan model pembelajaran *teacher center learning*. Materi termokimia yang termasuk dalam bab ke-2 dalam mata pelajaran kimia kelas XI semester gasal digunakan dengan menerapkan masing-masing model di kedua kelas penelitian. Waktu pembelajaran kimia untuk kelas XI adalah 5 jam pelajaran setiap minggunya.

Kelas penelitian akan mendapatkan tes berupa *pretest* dan *posttest* untuk mengetahui efektivitas pembelajaran PBL berbasis *green chemistry*. Soal yang akan diujikan telah divalidasi oleh ahli dan memiliki pengukuran yang sama. Penelitian ini disusun berdasarkan tahapan berikut:

1. Analisis Uji Coba Instrumen

Tahap persiapan sebelum penelitian dilakukan adalah menyusun instrumen penilaian keterampilan berfikir kritis berbasis *green chemistry*, alur tujuan pembelajaran, modul ajar dan pendukung pembelajaran yang lainnya. Instrumen penelitian berupa soal uraian dimana setiap butir soal dirancang berdasarkan variabel terikat yaitu keterampilan berpikir kritis berbasis

prinsip *green chemistry*. Kisi-kisi soal dapat dilihat pada **lampiran 6**.

Indikator berpikir kritis yang diusulkan oleh Facione (1992) yang mencakup interpretasi, analisis, evaluasi, penjelasan, dan regulasi diri digunakan sebagai dasar penyusunan instrumen dalam penelitian ini. Instrumen soal yang disusun terlebih dahulu disetujui oleh dosen pembimbing serta diverifikasi oleh validator ahli untuk memastikan kesesuaian dan kualitasnya. Instrumen yang telah disetujui tersebut kemudian diujikan kepada siswa yang sebelumnya pernah mendapatkan materi termokimia. Uji coba soal dilakukan pada dua kelas yaitu kelas XII-2 dan XII-8, yang pemilihannya didasarkan pertimbangan kebutuhan data dan masukan dari guru kimia kelas XII. Data yang diperoleh dianalisis secara menyeluruh untuk menilai berbagai aspek meliputi validitas, reliabilitas, tingkat kesulitan, serta kemampuan soal dalam membedakan tingkat pemahaman siswa. Berikut ini adalah hasil analisis instrumen yang didapatkan:

1) Validasi Instrumen oleh Ahli

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berupa 14 soal uraian yang dirancang untuk mengukur indikator berpikir kritis dan penerapan

prinsip *green chemistry*. Sebelum digunakan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis, instrumen ini melalui proses validasi ahli untuk memastikan kelayakannya. Uji instrumen bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana pertanyaan dalam instrumen dapat secara akurat mengukur keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Berdasarkan hasil validasi ahli, instrumen yang digunakan telah sesuai dengan indikator yang ditentukan, namun terdapat beberapa item soal yang perlu di revisi diantaranya perlu penambahan prinsip *green chemistry* pada beberapa butir soal, penulisan rubrik penilaian jawaban, dan penyederhanaan kalimat pada kunci jawaban.

Penilaian oleh validator ahli terhadap instrumen tes dilihat dari beberapa substansi yaitu substansi soal, substansi konstruk, dan substansi bahasa & kepenulisan. Penilaian tersebut berupa skor yang terdiri dari skor 1-5 dengan kriteria yang berbeda pada masing-masing soal. Kriteria skor 1 yaitu “tidak baik”, skor 2 yaitu “kurang baik”, skor 3 “cukup baik”, skor 4 “baik” sedangkan skor 5 “sangat baik”. Perolehan skor tersebut kemudian dianalisis untuk melihat kevalidan butir soal pada instrumen

yang akan digunakan. Berdasarkan analisis data didapatkan 14 soal dengan kategori layak untuk diujikan dengan catatan revisi di beberapa soal. Hasil aspek penilaian yang divalidasi oleh ahli dapat dilihat pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1. Hasil uji gregory

		Ahli 2	
		Kurang relevan	Sangat relevan
Ahli 1	Kurang relevan	0	0
	Sangat relevan	0	12
Validitas isi gregory		1	

Mengacu pada tabel 4.1 di atas, dapat dilihat bahwa hasil indeks gregory yang telah dihitung dapat dikategorikan valid untuk digunakan karena memiliki nilai indeks $\geq 0,75$ dengan kategori sangat tinggi. Instrumen tes keterampilan berpikir kritis dan penerapan prinsip *green chemistry* dinyatakan memenuhi kriteria kelayakan setelah melalui proses revisi. Hasil penilaian validitor ahli disajikan secara lengkap pada **lampiran 9**.

2) Analisis Validitas butir soal

Instrumen yang dinyatakan valid kemudian diujikan ke 36 siswa kelas XII-7 dan XII-8 SMA N 03 Semarang. Validitas butir soal ini digunakan untuk

memastikan keandalan butir soal uraian dalam mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Tabel 4.2 berikut memperlihatkan hasil uji validitas yang diperoleh berdasarkan analisis data.

Tabel 4.2 Hasil validitas butir soal

Kriteria	Nomor Soal	Jumlah	%
Valid	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11, 13,14	12	80%
Tidak Valid	7,12	2	20%

Mengacu pada tabel 4.2, validitas dihitung dengan menggunakan rumus *pearson product moment* melalui SPSS versi 16 menunjukkan bahwa 12 dari 14 butir soal yang diuji dinyatakan valid, sedangkan 2 soal lainnya tidak memenuhi kriteria validitas, yaitu soal nomor 7 dan 12. Keputusan tersebut diambil dengan mempertimbangkan perbandingan antara skor yang dihitung (r_{hitung}) dengan skor tabel (r_{tabel}), dengan ketentuan bahwa r_{hitung} lebih besar atau sama dengan r_{tabel} , sehingga soal dinyatakan valid dengan tingkat signifikansi 5% atau probabilitas 5% dengan skor tabel (r_{tabel}) sebesar 0.2759365.

Soal no 7 dan 12 dikatakan tidak valid dikarenakan pertanyaan belum mencakup variabel

yang akan diukur. Selain itu, apabila dilihat dari nilai *pearson correlation-nya* baik pada soal no 7 maupun 12 memiliki skor hitung (r_{hitung}) yang lebih kecil dibandingkan dengan skor tabel (r_{tabel}) yaitu secara berturut-turut 0,0758 dan 0.0666. Kedua skor tersebut kurang dari r tabel yang telah ditentukan, sehingga dinyatakan tidak valid. Hasil analisis validitas ini tercantum pada **lampiran 12**.

3) Analisis Reliabilitas

Tingkat konsistensi instrumen yang akan digunakan diukur dengan uji reliabilitas. Rumus *Cronbach Alpha* digunakan dalam penelitian ini untuk menghitung reliabilitas instrumen. Sebuah instrumen dikatakan reliabel apabila hasil perhitungan melebihi r_{tabel} . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa reliabilitas instrumen (r_{11}) sebesar 0,786 seperti yang terlihat pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Hasil Analisis Reliabilitas SPSS

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
0.786	14

Hasil nilai r hitung yang diperoleh yaitu sebesar 0,786 lebih besar daripada r tabel (0,70)

menunjukkan bahwa instrumen penelitian ini bersifat reliabel. Konsistensi instrumen yang digunakan termasuk dalam kategori tinggi karena nilai rentan rtabel yang diperoleh pada kisaran 0,6 – 0.8. Hasil uji reliabilitas per butir soal disajikan dalam **lampiran 13**.

4) Analisis Tingkat Kesukaran Soal

Klasifikasi instrumen tes yang akan diuji didasarkan pada analisis tingkat kesukaran soal yang bertujuan untuk mengetahui soal tersebut tergolong mudah, sedang, atau sulit. Uji kesukaran ini diperlukan untuk memastikan kualitas soal agar mendukung pengambilan keputusan yang tepat dan memberikan hasil yang akurat. Analisis tingkat kesukaran ini menggunakan bantuan *software microsoft excel* yaitu dengan membandingkan rata-rata skor dengan skor maksimal. Detail hasil analisis kesukaran ini dapat ditemukan dalam **lampiran 14**, dengan analisis tingkat kesukaran soal yang ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tingkat Kesukaran Soal

Kriteria	Nomor Soal	Jumlah
Sukar	8	1
Sedang	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	13

5) Analisis Daya Beda Soal

Uji tingkat daya beda soal adalah metode yang digunakan untuk menilai suatu pertanyaan efektif dalam membedakan siswa berkemampuan tinggi dan siswa berkemampuan rendah. Soal dengan daya beda yang baik dapat mengidentifikasi perbedaan kemampuan siswa secara jelas, sehingga berfungsi efektif dalam pembelajaran. **Lampiran 15** menyajikan secara rinci hasil analisis daya beda soal dan secara ringkas disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Daya Beda Soal

Nomor Soal	Keterangan
1, 9	Baik
2,3,4, 5, 8, 10, 11, 12	Cukup
6, 7, 12, 14	Kurang

Hasil analisis daya pembeda melalui SPSS menunjukkan bahwa terdapat variasi yang beragam pada 14 soal yang telah dianalisis.

6) Analisis Soal yang Layak Digunakan

Analisis soal yang layak digunakan merujuk pada proses evaluasi yang dilakukan untuk memastikan bahwa soal-soal yang digunakan dalam suatu ujian atau tes dapat mengukur kemampuan

peserta didik secara akurat dan efektif. Soal yang telah memenuhi kriteria validitas, reliabilitas, daya beda, dan tingkat kesukaran dapat digunakan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Tabel 4.6 menunjukkan soal-soal yang memenuhi kriteria untuk digunakan.

Tabel 4.6 Soal yang digunakan sebagai Instrumen

No Soal	Kriteria				Keterangan
	Valid	Reliabel	DB	TK	
1	Valid	Tinggi	Baik	Sedang	Digunakan
2	Valid	Tinggi	Cukup	Sedang	Digunakan
3	Valid	Tinggi	Cukup	Sedang	Digunakan
4	Valid	Tinggi	Cukup	Sedang	Digunakan
5	Valid	Tinggi	Cukup	Sedang	Digunakan
6	Valid	Tinggi	Kurang	Sedang	Tidak digunakan
7	Tidak Valid	Tinggi	Kurang	Sedang	Tidak digunakan
8	Valid	Tinggi	Baik	Sukar	Digunakan
9	Valid	Tinggi	Baik	Sedang	Digunakan
10	Valid	Tinggi	Cukup	Sedang	Digunakan
11	Valid	Tinggi	Cukup	Sedang	Digunakan
12	Tidak Valid	Tinggi	Kurang	Sedang	Tidak digunakan
13	Valid	Tinggi	Cukup	Sedang	Digunakan
14	Valid	Tinggi	Kurang	Sedang	Tidak digunakan

Keterangan:

DB: Daya Beda Soal

TK: Tingkat Kesukaran

Hasil analisis menunjukkan bahwa 10 soal yang dapat digunakan sebagai instrumen penelitian, yaitu soal nomor 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, dan 13. Keputusan ini diambil berdasarkan kriteria kevalidan dan daya beda soal. Soal no 6 dan 13 tidak digunakan sebagai instrumen penelitian karena memiliki daya beda kurang, sedangkan soal no 7 dan 12 tidak digunakan karena soal tersebut tidak valid dan memiliki kategori daya beda yang kurang.

Butir soal ke-1 merupakan soal mengenai penerapan hukum kekekalan energi dengan ranah kognitif C4 dan menerapkan prinsip *green chemistry* desain untuk efisiensi energi dan pengurangan turunan bahan kimia. Pada soal tersebut siswa diminta untuk menganalisis prinsip terjadinya hukum kekekalan energi dan kaitanya dengan termokimia. Soal ke-2 merupakan soal mengenai sistem dan lingkungan dengan ranah kognitif C4, siswa diminta untuk menentukan jenis sistem dan disertai alasan berdasarkan 2 studi kasus yang telah disajikan dengan mengintegrasikan prinsip *green chemistry* efisiensi energi dan penggunaan bahan terbarukan.

Soal ke-3 siswa diminta untuk menentukan reaksi eksoterm/endoterm pada 4 gambar yang berisi informasi mengenai perbedaan suhu sebelum dan setelah reaksi yang dikaitkan dengan prinsip *green chemistry* yaitu desain ramah lingkungan dan efisiensi penggunaan bahan baku. Selain itu, siswa diminta untuk memberikan alasan pengambilan keputusan dan diperkuat dengan memberikan penjelasan hubungan reaksi tersebut dengan perubahan entalpi. Butir soal ke-4 berhubungan dengan sub materi kalorimeter dengan ranah kognitif C4. Siswa diminta untuk menentukan harga kalor berdasarkan data percobaan dengan menerapkan penggunaan katalis dan desain untuk degradasi (prinsip *green chemistry*) disertai dengan penjelasan kalor yang dihasilkan dari reaksi pembuatan biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Soal ke-5 siswa diminta untuk menentukan perubahan entalpi pada proses proses pelarutan *Ammonium nitrat* pada alat kantong penyeka dingin serta menghubungkan prinsip kerja kantong penyeka dengan terjadinya reaksi eksoterm/endoterm. Ranah kognitif pada soal ini yaitu C5 dengan pendekatan desain yang aman dan efisiensi penggunaan bahan

(prinsip *green chemistry*). Soal ke-6 merupakan soal pada sub materi persamaan termokimia dengan ranah kognitif C5 dan penerapan prinsip *green chemistry* efisiensi energi. Pada soal ini siswa diminta untuk menentukan kalor berdasarkan beberapa persamaan termokimia dan menganalisis bagaimana panas yang dihasilkan dapat digunakan untuk menjaga pertahanan serangga.

Butir soal ke-7 merupakan soal pada sub materi perubahan entalpi dalam keadaan standar dengan ranah kognitif C5 dan penerapan prinsip *greem chemistry* yaitu penggunaan bahan yang aman dan efisiensi energi. Soal ini mengharuskan siswa untuk menentukan perubahan entalpi pembentukan standar berdasarkan data perubahan entalpi dalam reaksi kimia, serta memberikan penjelasan tentang penggunaa nhidrogen sebagai energi yang ramah lingkungan. Soal ke-8 meminta siswa untuk menentukan besar energi yang diperlukan untuk membentuk 2 mol H_2O pada grafik yang telah disajikan. Soal ini menerapkan prinsip *green chemistry* pencegahan limbah dan efisiensi energi dengan ranah kognitif C4.

Soal ke-9 berhubungan dengan sub materi energi ikatan dengan ranah kognitif C5 dengan penerapan prinsip *green chemistry* yaitu penggunaan katalis. Soal ini meminta siswa untuk menghitung perubahan entalpi reaksi oksidasi etena berdasarkan data energi ikatan. Soal ke-10 merupakan soal yang meminta siswa untuk menentukan perubahan entalpi berdasarkan prinsip hukum hess dan menggambarkan diagram energinya dengan ranah kognitif C5. Soal ini menerapkan prinsip *greem chemistry* yaitu pengurangan limbah (reaksi akhir menghasilkan garam dan air).

Soal-soal tersebut sudah mencakup semua sub pada materi termokimia dengan berbasis pada prinsip *green chemistry*. Sepuluh soal tersebut telah memenuhi kriteria yang diperlukan untuk dijadikan instrumen tes dalam penelitian ini dan efektif untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Analisis soal yang layak digunakan secara lengkap disajikan pada **lampiran 16**.

2. Analisis Hasil Penelitian

Nilai *pretest* dan *posttest* yang diperoleh dari kelas eksperimen dan kontrol digunakan sebagai sumber data dalam penelitian ini. Analisis perbandingan skor kedua tes digunakan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. kedua kelas diberikan soal yang sama dengan jumlah 10 butir dan telah teruji. Informasi mengenai keterampilan berpikir kritis berdasarkan analisis statistik dapat dilihat pada **Lampiran 20**.

a. Hasil *Pretest* Kelas Eksperimen dan Kontrol

Pretest dilakukan untuk mengevaluasi tingkat pengetahuan dasar siswa tentang termokimia sebelum perlakuan diberikan. Tabel 4.7 berikut menyajikan data rata-rata hasil *pretest* siswa.

Tabel 4.7 Hasil Rata-rata Nilai *Pretest* Kelas Kontrol dan Eksperimen

Kelas	X (Rata-rata)	Standar Deviasi
Kontrol	7,22	3,22
Eksperimen	8,77	4,38

Data *pretest* dari kedua kelas mengindikasikan bahwa tingkat keterampilan berpikir kritis awal siswa relatif setara, dengan

selisih nilai rata-rata yang tidak terlalu signifikan. Rata-rata nilai *pretest* di kelas eksperimen dan kontrol secara berurutan yaitu 8,77 dan 7,22 dengan standar deviasi 4,38 pada kelas eksperimen dan standar deviasi kelas kontrol sebesar 3,22.

b. Hasil *Posttest* Kelas Eksperimen dan Kontrol

Pelaksanaan *posttest* dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluai kemajuan keterampilan berpikir kritis siswa pasca penerapan model pembelajaran. Hasil *posttest* ini digunakan sebagai acuan untuk menilai perkembangan keterampilan berpikir kritis siswa. Tabel 4.8 berikut meyajikan hasil rata-rata *posttest* keterampilan berpikir kritis siswa.

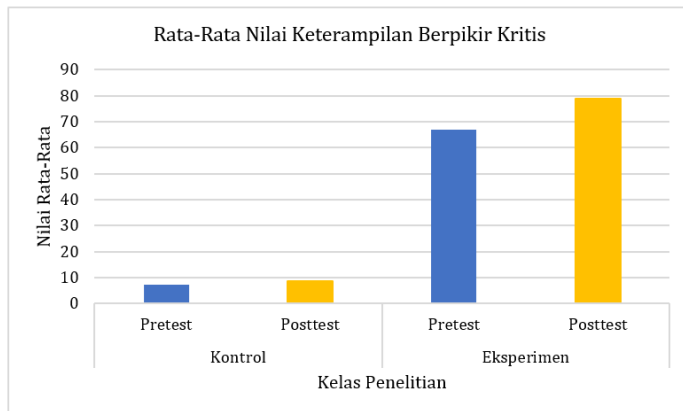
Tabel 4.8 Hasil Rata-rata Nilai *Posttest* Kelas Kontrol dan Eksperimen

Kelas	X (Rata-rata)	Standar Deviasi
Kontrol	66,77	10,94
Eksperimen	78,86	7,29

Kelas eksperimen yang menerapkan model pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* memiliki nilai rata-rata *posttest* 78,86 dengan standar deviasi 7,29. Pada kelas kontrol, rata-rata

nilai *posttest* mencapai 66,77 dengan standar deviasi 10,94. Berdasarkan hasil *posttest*, keterampilan berpikir kritis akhir siswa di kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol.

Gambar 4.1 berikut menunjukkan perbandingan nilai rata-rata hasil penelitian baik sebelum maupun sesudah perlakuan pada kedua kelas.



Gambar 4.1 Rata-rata nilai keterampilan berpikir kritis

Hasil analisis deskriptif nilai keterampilan berpikir kritis siswa kelas penelitian menunjukkan bahwa terjadi perbedaan nilai rata-rata baik pada sebelum dan setelah perlakuan. Pada *pretest*, rata-rata nilai kelas eksperimen sebesar 8,77 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yaitu sebesar 7.22. Begitupun dengan hasil rata-rata *posttest*, pada kelas

eksperimen mencapai 78,86, sementara kelas kontrol mencapai 66,77.

Nilai rata-rata keterampilan berpikir kritis yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan setelah perlakuan diterapkan. Data ini akan menjadi acuan dalam mengukur efek/pengaruh penerapan pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis siswa.

3. Uji Prasyarat

a. Uji Normalitas

Dalam penelitian ini, uji Shapiro Wilk digunakan untuk menguji normalitas data, yaitu untuk memastikan data yang dianalisis berdistribusi normal atau tidak. Analisis ini diperlukan sebagai prasyarat untuk melakukan uji parametrik. Hasil perhitungan dengan *software* SPSS versi 16 menunjukkan bahwa data memiliki distribusi normal. Keputusan diambil berdasarkan pedoman berikut.

H_a : hasil keterampilan berpikir kritis berdistribusi normal jika nilai signifikasin $> 0,05$

H_0 : hasil keterampilan berpikir kritis tidak berdistribusi normal jika nilai signifikasin $> 0,05$

Berdasarkan analisis normalitas data, hasil dari kelas penelitian menunjukkan distribusi yang normal, hal ini dapat diidentifikasi dari nilai signifikansi keterampilan berpikir kritis yang lebih besar dari 0,05. Pada kelas kontrol nilai signifikansi sebelum perlakuan yaitu 0,409 dan setelah perlakuan 0,111. Di sisi lain, kelas eksperimen menunjukkan nilai signifikansi untuk *pretest* dan *posttest* sebesar 0,193 dan 0,611 yang juga lebih besar dari 0,05. Tabel 4.9 berikut menyajikan hasil uji normalitas data dan secara rinci, hasil uji normalitas dapat dilihat pada **Lampiran 22**.

Tabel 4.9 Data Uji Normalitas

Kelas	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Kontrol	0,409	0.193
Eksperimen	0,111	0.611

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas adalah suatu prosedur yang dilakukan dengan tujuan untuk menentukan tingkat variasi antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, sehingga memungkinkan untuk mengetahui kesamaan variansi antara dua kelompok sampel. Dalam penelitian ini, uji homogenitas dilakukan

dengan menggunakan uji $F_{\max}$ Harley. Berdasarkan hasil analisis yang dihitung dengan bantuan perangkat lunak SPSS menunjukkan bahwa distribusi data bersifat homogen. Pengambilan keputusan mengacu pada kriteria berikut:

- 1) Sebaran data keterampilan berpikir kritis memiliki nilai signifikansi $> 0,05$ (homogen)
- 2) Sebaran data keterampilan berpikir kritis memiliki nilai signifikansi $< 0,05$ (tidak homogen)

Hasil perhitungan statistik melalui SPSS menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,073 yang berarti sebaran data bersifat homogen karena nilainya lebih besar dari 0,05. Data uji homogenitas yang ditampilkan pada tabel 4.10 berikut disajikan secara lengkap di **Lampiran 23**.

Tabel 4.10 Hasil uji homogenitas keterampilan berpikir kritis.

Soal	Signifkansi
Pretest	0,073

B. Hasil Uji Hipotesis

1. Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan guna memperkirakan kondisi populasi berdasarkan data yang diperoleh. Uji hipotesis dapat dilakukan setelah data dinyatakan normal dan homogen, karena keduanya menjadi syarat utama untuk melanjutkan pengujian. Uji *independent sample t-test* dengan bantuan perangkat lunak SPSS versi 16 digunakan dalam penelitian ini untuk uji hipotesis. Kriteria pengambilan keputusan yaitu sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil keterampilan berpikir kritis siswa antara dua kelas penelitian (nilai signifikansi $> 0,05$)

H_a : Terdapat perbedaan rata-rata hasil keterampilan berpikir kritis siswa antara dua kelas penelitian (nilai signifikansi $< 0,05$)

Tabel 4.11 berikut menyajikan hasil uji hipotesis keterampilan berpikir kritis.

Tabel 4.11 Uji *independent sample t-test* keterampilan berpikir kritis

	T-test for Equality of Means	
	df	Sig. (2-tailed)
Equal variances assumed	70	.000
Equal variances not assumed	60.961	.000

Nilai uji-t (2-tailed) yang diperoleh dari uji *independent sample t-test* sebesar 0,000, yang lebih rendah dari tingkat signifikansi 0,05. Hasil ini diinterpretasikan berdasarkan kriteria pengambilan keputusan yang menunjukkan bahwa hipotesis H_a diterima karena nilai signifikansi kurang dari 0,05. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata nilai keterampilan berpikir kritis yang signifikan antara kelas kontrol dan eksperimen setelah diberi perlakuan, yang menunjukkan bahwa pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* efektif terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Dengan demikian, pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* berhasil menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna. Analisis data secara rinci disajikan pada **lampiran 24**.

2. Uji *Effect Size*

Effect size dalam penelitian ini digunakan untuk menggambarkan besarnya pengaruh suatu variabel bebas terhadap variabel terikat. Perubahan keterampilan berpikir kritis sebelum dan sesudah perlakuan dinilai dengan menggunakan uji *effect size*. Uji *effect size* pada penelitian ini menggunakan metode pengukuran *Cohens's d*. Tabel 4.12 berikut menyajikan hasil uji *effect size* keterampilan berpikir kritis.

Tabel 4.12 Hasil Uji *Effect Size*

	Eksperimen	Kontrol
Standar Deviasi	7,024	12,325
Standar <i>Deviasi Pooled</i>	10,03101	
<i>Effect Size</i>	1.049	

Berdasarkan analisis data diatas, hasil uji *effect size* dalam penelitian ini sebesar 1,049 yang menunjukkan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis dapat dikategorikan memiliki efek yang sangat tinggi karena memiliki hasil *effect size* lebih dari 1. Pengambilan keputusan ini dapat dilihat pada **tabel 3.7.** analisis data secara lengkap dapat dilihat pada **lampiran 25.**

C. Pembahasan

Dinamika kurikulum yang terus berubah setiap tahunnya, tentu memerlukan inovasi pembelajaran yang dapat mendukung ketercapaian keterampilan siswa. Pengembangan model pembelajaran yang berfokus pada penerapan model PBL dan prinsip *green chemistry* menjadi penting dan dapat diterapkan dalam pembelajaran kimia. Model PBL dipilih dalam penelitian ini karena menurut Asmara dan Septiana (2023), penerapan model PBL membantu siswa mengembangkan pengetahuan dan keterampilan memecahkan masalah serta mendorong rasa

ingin tahu dengan memberikan pengalaman belajar yang nyata. Proses pemecahan masalah dalam model PBL juga memfasilitasi siswa untuk memperoleh pengalaman belajar secara mandiri (Haerullah dan Hasan, 2017). Model ini sejalan dengan salah satu model yang dicetuskan oleh Joyce dan Weil (2003), yaitu *personal models*, dimana pembelajaran yang diterapkan sesuai dengan paradigma *student center*.

Model PBL memiliki dampak positif terhadap perkembangan keterampilan berpikir kritis karena kegiatan pembelajaran dikaitkan dengan situasi langsung sehingga peserta didik lebih mudah memahami serta berpartisipasi aktif dalam proses belajar (Zahro and Lutfianasari, 2024). Keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran menunjukkan bahwa ilmu pengetahuan tidak hanya didapatkan dari guru saja, melainkan diperoleh melalui proses berpikir secara mandiri (Sanjaya, 2006). Penelitian ini selaras dengan teori konstruktivisme, yang menekankan bahwa peserta didik memegang peran utama dalam proses belajar. Haerullah dan Hasan (2017) juga menegaskan keunggulan lain dari penerapan PBL yang dapat mendorong siswa untuk lebih reflektif dalam mengambil keputusan dan meningkatkan kesadaran akan pentingnya tanggung jawab dalam proses.

Permasalahan yang disajikan dalam model PBL relevan dan dapat mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan, yaitu dengan menerapkan prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran. Dasar penerapan GC dalam pembelajaran berfokus pada perancangan desain kimia yang ramah lingkungan dan upaya mengurangi resiko bahaya pada saat merancang proses/produk kimia (Anastas and Eghbali, 2010). Materi termokimia memiliki relevansi dengan penerapan prinsip *green chemistry* karena memungkinkan perancangan reaksi kimia yang efisien energi, meminimalkan limbah, dan mengurangi dampak lingkungan melalui pemahaman mendalam tentang perubahan energi dalam proses kimia.

Prinsip *green chemistry* yang diterapkan dalam pembelajaran membantu siswa untuk membangun konstruk pemahaman mengenai proses kimia yang berkelanjutan. Penerapan inovasi pembelajaran ini memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis sekaligus menumbuhkan nilai konservasi (Rosita, Sudarmin & Marwoto, 2014). Hal tersebut dapat terjadi karena siswa dihadapkan dengan masalah nyata dan dengan melalui eksplorasi, analisis, dan identifikasi masalah, siswa dapat membuat solusi yang lebih ramah lingkungan. Siswa tidak hanya memahai

konsep secara teoritis tetapi juga mampu mengaplikasikanya dalam kehidupan sehari-hari.

Tahap awal yang dilakukan oleh peneliti menyusun adalah perangkat pembelajaran yang akan digunakan selama penelitian. Perangkat tersebut memuat modul ajar berbasis *green chemistry*, LKPD, kisi-kisi instrumen tes, instrumen tes, petunjuk praktikum yang didesain menggunakan prinsip *green chemistry* dan rubrik penilaian. Instrumen tes disahkan oleh ahli melalui proses validasi sebelum diterapkan kepada siswa. Validasi oleh ahli ini mencakup beberapa substansi yaitu pada aspek isi/materi, konstruk, dan kepenulisan & bahasa. Tabel 4.2 memuat hasil validasi ahli, dimana 14 butir soal yang dinilai menggunakan skala likert memperoleh skor gregory dalam kategori tinggi. Instrumen secara umum dianggap layak dan valid untuk uji coba, namun beberapa butir soal perlu direvisi.

Uji coba soal dilakukan pada siswa kelas XII-2 dan XII-8 SMA N 03 Semarang, dimana siswa tersebut sudah menerima pembelajaran mengenai termokimia pada kelas XI. Pemilihan kelas dilakukan berdasarkan pertimbangan kemampuan siswa dan rekomendasi dari guru yang mengampu. Sebanyak 10 dari 14 soal dinyatakan layak digunakan berdasarkan uji validitas, reliabilitas, tingkat

kesukaran, dan daya beda. Instrumen tersebut disajikan dalam **Lampiran 16**. Tabel 4.13 berikut memuat rincian indikator berpikir kritis yang terdapat dalam instrumen tes.

Tabel 4.13 Cakupan Indikator Keterampilan Berpikir Kritis pada Instrumen Tes

Indikator	Nomor Soal	Presentase
Interpretasi	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	100%
Analisis	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	100%
Inferensi	2, 3, 4, 8	40%
Penjelasan	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	70%
Regulasi diri	2	10%

Instrumen tes merujuk pada indikator berpikir kritis yang dijelaskan oleh Facione (1992) yaitu mencakup interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan regulasi diri. Pada soal pertama indikator berpikir kritis yang digunakan adalah interpretasi, analisis dan penjelasan, yaitu dengan menganalisis dan mengungkapkan pendapat melalui identifikasi hubungan antara pernyataan, konsep, dan representasi lainnya. Indikator soal kedua yaitu interpretasi, analisis, inferensi, dan penjelasan, siswa diminta untuk mengkategorikan pernyataan, mengungkapkan gagasan dari suatu fenomena dengan mampu menguraikan dan memperjelas suatu makna serta menganalisis hubungan antara pernyataan

dan konsep untuk mengungkapkan pendapat. Selain itu pada soal kedua siswa juga dapat memilih argumen yang logis dengan mempertimbangkan informasi yang relevan sehingga dapat dipertanggungjawabkan.

Soal ketiga yaitu mengidentifikasi unsur dan menganalisis pendapat berdasarkan ilustrasi yang disajikan serta memilih argumen yang logis untuk menyatakan pendapat sesuai dengan bukti yang diperoleh. Soal keempat yaitu mengidentifikasi hubungan antara pernyataan dan konsep untuk menyelesaikan persoalan dan menentukan informasi yang masuk akal sehingga kesimpulan bisa didapatkan. Soal kelima melibatkan identifikasi hubungan antara pernyataan, konsep dan representasi lain untuk menyelesaikan masalah matematis. Pada soal ini juga siswa memilih argumen yang logis dan masuk akal untuk kemudian dapat menyatakan pendapat.

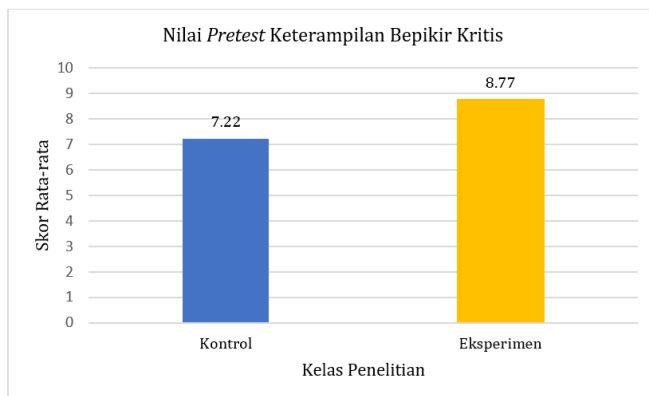
Pada soal keenam, siswa diminta untuk menggunakan strategi yang tepat dalam menyelesaikan persoalan matematis dan menarik kesimpulan berdasarkan identifikasi unsur dan penentuan informasi yang masuk akal. Indikator berpikir kritis dalam soal ketujuh mencakup kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan antara pernyataan, konsep, dan representasi lain untuk memecahkan masalah matematis serta

mengidentifikasi unsur yang diperlukan untuk menarik kesimpulan. Soal kedelapan yaitu mengidentifikasi hubungan antara pernyataan, konsep yang terdapat pada soal untuk menyatakan pendapat yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah. Pada soal kesembilan, siswa diminta untuk mengidentifikasi masalah dengan mencatat informasi yang diketahui dan memilih strategi yang sesuai dalam menyelesaikan masalah matematis. Sementara soal kesepuluh, keterampilan berpikir kritis yang hendak dicapai adalah menggunakan strategi yang tepat dalam menyelesaikan persoalan matematis.

Soal yang memenuhi kriteria kelayakan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis selanjutnya diberikan pada kelas kontrol dan eksperimen. Penelitian ini melibatkan dua kelas sebagai sampel yang dipilih dari populasi kelas XI menggunakan metode *purposive sampling*, dengan kelas XI-2 dipilih sebagai kelas kontrol dan kelas XI-3 sebagai kelas eksperimen. Metode ini digunakan berdasarkan pertimbangan yang relevan dengan tujuan pembelajaran dan tidak dilakukan secara acak (Sugiyono, 2015).

Pengukuran awal terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dilakukan dengan memberikan *pretest*, pemberian *pretest* ini juga digunakan untuk mengevaluasi

pemahaman dasar siswa sebelum perlakuan diterapkan (Purwanto, 1986). Analisis nilai *pretest* dilakukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif, hasil rata-rata pada kelas kontrol sebesar 7,22 sedangkan kelas eksperimen sebesar 8,77. Nilai yang rendah ini disebabkan oleh kurangnya pemahaman siswa terhadap materi termokimia, sehingga saat pengerjaan soal *pretest* banyak butir soal yang tidak dikerjakan. Nilai rata-rata *pretest* dari kedua kelas dapat dibandingkan melalui Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Hasil nilai *pretest* berpikir kritis

Perlakuan berbeda akan diberikan pada kedua kelas setelah dilaksanakan *pretest*. Kelas eksperimen menerapkan pembelajaran PBL berbasis *green chemistry*, sedangkan kelas kontrol menerapkan pembelajaran dengan model TCL. Materi yang digunakan di kedua kelas merupakan materi yang sama yaitu bab termokimia,

mencakup sub materi sistem & lingkungan, reaksi eksoterm & endoterm, entalpi dan perubahannya dalam keadaan standar, dan penentuan kalor reaksi. Semua materi yang digunakan dikaitkan dengan fenomena atau contoh nyata yang mengimplementasikan prinsip *green chemistry*. Masing-masing pertemuan memiliki tujuan pembelajaran yang berbeda dan disesuaikan dengan submateri yang akan diajarkan.

Pertemuan pertama digunakan untuk mengidentifikasi pengetahuan awal siswa yaitu dengan diberikan *pretest* keterampilan berpikir kritis. Pertemuan kedua dan ketiga membahas materi hukum kekekalan energi, sistem & lingkungan, reaksi eksoterm & endoterm, konsep entalpi dan perubahannya serta memahami konsep persamaan termokimia, dimana pada pertemuan ini kegiatan pembelajaran hanya dilakukan di dalam kelas. Pertemuan keempat dan kelima siswa belajar mengenai materi perubahan entalpi dalam keadaan standar dan mampu menghitung perubahan entalpi dengan menggunakan data entalpi pembentukan standar. Pada pertemuan keenam dan ketujuh, kegiatan belajar siswa dilakukan di luar kelas melalui praktikum yang membahas kalorimeter dan hukum hess. Kegiatan praktikum memungkinkan siswa untuk secara langsung melakukan

percobaan, yang membantu menumbuhkan rasa ingin tahu dan mempertajam kemampuan berpikir kritis. Peneliti menggunakan pertemuan terakhir untuk menilai perkembangan keterampilan berpikir kritis siswa setelah menerima perlakuan.

Kegiatan pembelajaran di kelas eksperimen dilaksanakan melalui tiga tahapan, yaitu pendahuluan, kegiatan inti, dan penutup. Tahap pendahuluan memainkan peran utama dalam menumbuhkan nilai karakter pada siswa, dimana pada bagian ini siswa berdoa bersama-sama sebelum memulai pembelajaran, dilanjutkan dengan pemberian motivasi dan arahan oleh guru serta tujuan pembelajaran yang hendak dicapai juga disampaikan. Kegiatan inti dilakukan dengan menerapkan model PBL yang mencakup beberapa sintak yaitu orientasi siswa pada masalah, mengorganisasikan siswa, membimbing penyelidikan individu maupun kelompok, mengembangkan & menyajikan hasil, serta menganalisis dan mengevaluasi hasil pemecahan masalah (Trianto, 2009).

Orientasi siswa terhadap masalah menjadi langkah awal dalam sintak PBL, dengan menghadirkan permasalahan yang sesuai dengan topik termokimia yang menerapkan prinsip *green chemistry*. Pertemuan pertama

siswa diberikan masalah mengenai sampah plastik yang bertumpukan. Kemudian guru menjelaskan fakta bahwa banyak negara besar seperti Denmark, Prancis, dan Amerika mampu mengkonversi limbah sampah menjadi energi listrik. Fakta yang disajikan kemudian memunculkan pertanyaan terhadap masalah yang mendorong untuk berpikir secara kritis dalam mencari solusi atas masalah yang diberikan (Paul dan Elder, 2008).

Pertanyaan yang diajukan oleh peneliti adalah mengapa sampah dapat diolah dan menghasilkan energi?, dari pertanyaan ini terdapat beberapa siswa yang menjawab. Peneliti memberikan kesimpulan setelah melakukan diskusi dan tanya jawab, yaitu sampah plastik memiliki potensi untuk diolah untuk menghasilkan energi karena pada umumnya plastik tersusun atas senyawa hidrokarbon, hampir mirip dengan bahan bakar fosil. Pemanfaatan teknologi seperti pirolisis maka akan menghasilkan gas/minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar (Suryanto, 2021).

Proses pengolahan sampah plastik menggunakan metode pirolisis juga sebagai salah satu upaya penerapan *green chemistry*, dimana sampah plastik yang dianggap limbah dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, sementara penerapan proses pirolisis dirancang

untuk menggunakan energi seminimal mungkin dalam konversi plastik menjadi energi. Keterkaitan penyajian masalah dengan materi yang akan dipelajari yaitu menurut hukum kekekalan energi, energi itu tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, melainkan hanya mengalami perubahan bentuk (Chang dan Overby, 1986).

Sintaks kedua yaitu pengelompokan siswa ke dalam beberapa tim, diikuti dengan pemberian LKPD oleh guru kepada setiap kelompok. Lembar kerja tersebut digunakan sebagai sarana untuk membantu siswa dalam mengikuti proses pembelajaran. Pemanfaatan LKPD dalam pembelajaran terbukti mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa (Elfina dan Sylvia, 2020). LKPD yang telah dibagikan menyajikan studi kasus yang berkaitan dengan submateri hukum kekekalan energi, hubungan sistem dengan lingkungan, dan reaksi eksoterm maupun endoterm.

Tahap selanjutnya melibatkan proses membimbing penyelidikan secara individu maupun kelompok, peneliti bertugas mengarahkan siswa untuk melakukan penyelidikan sehingga mendapatkan kejelasan dan memecahkan masalah dari berbagai sumber informasi. Proses pemecahan secara kelompok dapat melatih siswa

untuk berdiskusi dan bekerja sama antar sesama tim (Zadugisti, 2010).

Sintak keempat yaitu mengembangkan dan menyajikan karya, hasil diskusi kelompok berupa solusi dari suatu permasalahan kemudian dipresentasikan kepada teman-teman yang lain. Kegiatan presentasi ini dapat meningkatkan aktivitas belajar dan mengintegrasikan pengetahuan siswa melalui langkah-langkah penyelidikan, mengkaji hasil analisis, dan memberikan solusi berupa kesimpulan terhadap masalah yang disajikan (Sanjaya, 2006). Tahap berikutnya yaitu sesi tanya jawab yang dilaksanakan guna memberikan ruang kepada kelompok lain untuk bertanya dan berdiskusi sehingga memperjelas pemahaman mengenai konsep termokimia. Isrokátun dan Rosmala (2019) juga menegaskan bahwa kegiatan ini melatih keterampilan intrapersonal dan meningkatkan kemampuan untuk berpendapat. Selain itu, sesi tanya jawab juga dapat mengasah keterampilan berpikir secara mendalam, kritis, dan logis.

Sintaks terakhir yaitu analisis dan evaluasi terhadap penyelesaian masalah. Pada tahap ini guru mendampingi siswa untuk menganalisis proses pemecahan masalah dan melakukan refleksi terhadap

penyelidikan dan solusi yang dihasilkan. Proses evaluasi mendorong siswa untuk lebih reflektif dalam mengambil keputusan serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya tanggung jawab dalam proses (Haerullah dan Hasan, 2017). Tahap ini juga digunakan oleh guru untuk memperkuat materi yang telah dipelajari dan memberikan soal evaluasi untuk menilai pemahaman siswa mengenai materi tersebut.

Penelitian ini juga menyertakan kegiatan praktikum berbasis *green chemistry* untuk mendalami submateri reaksi eksoterm, endoterm, dan kalorimeter. Metode pembelajaran praktikum bertujuan untuk memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengamati objek, menganalisis, membuktikan, dan menarik kesimpulan mengenai objek yang dipelajari (Helmiati, 2012). Pembelajaran dimulai dengan memfokuskan perhatian siswa pada masalah penggunaan bahan kimia yang beresiko bagi kelestarian lingkungan. Masalah yang disampaikan di awal pembelajaran ini dapat membangkitkan rasa ingin tahu siswa mengenai reaksi eksoterm dan endoterm serta pengukuran kalor menggunakan kalorimeter berbasis *green chemistry*.

Penyelesaian dari masalah yang disajikan, siswa terlibat dalam praktikum untuk mengidentifikasi suatu

reaksi apakah termasuk reaksi eksoterm atau endoterm dan pengukuran kalor menggunakan kalorimeter. Bahan yang digunakan dalam percobaan ini yaitu kapur sirih, garam dapur, larutan HCl dan NaOH dengan konsentrasi yang kecil. Prinsip *green chemistry* diterapkan dalam percobaan reaksi eksoterm dan endoterm melalui pemilihan bahan yang aman, seperti kapur sirih dan garam dapur yang tidak menghasilkan limbah dan mudah terurai. Selain itu, percobaan ini dirancang untuk meminimalkan kebutuhan energi karena terjadi pada suhu kamar tanpa memerlukan energi tambahan serta penggunaan kapur sirih dan garam dapur diperoleh dari sumber bahan terbarukan. Sementara pada percobaan kedua yaitu mengukur perubahan entalpi menggunakan kalorimeter juga dirancang dengan memperhatikan prinsip *green chemistry*, desain ini mengutamakan penggunaan bahan dengan konsentrasi yang rendah sehingga meminimalkan resiko bahaya. Produk hasil reaksi antara HCl dan NaOH adalah larutan NaCl dan air, sehingga tidak berbahaya dan dapat dibuang dengan aman ke lingkungan tanpa dampak negatif.

Praktikum pengukuran kalor yang dirancang dengan berorientasi pada penerapan prinsip *green chemistry* memberikan pengalaman yang berarti dan

pemahaman yang lebih mendalam. Percobaan ini memungkinkan siswa untuk memahami perubahan kalor yang disebabkan oleh penambahan suatu zat dan dapat memahami perbedaan antara reaksi eksoterm dan endoterm berdasarkan perbedaan suhu sebelum dan setelah reaksi. Apabila dalam percobaan pertama yang menggunakan NaCl didapatkan suhu setelah reaksi semakin kecil dan saat menggunakan kapur sirih suhu akhir reaksi meningkat menunjukkan bahwa percobaan berhasil. Sementara pada percobaan kedua penambahan larutan HCl ke dalam larutan NaOH dalam kalorimeter akan menghasilkan peningkatan suhu karena sistem melepas kalor ke lingkungan.

Berdasarkan percobaan pertama menunjukkan bahwa pada larutan NaCl terjadi reaksi endoterm sedangkan pada larutan kapur sirih terjadi reaksi eksoterm. Pada percobaan kedua menunjukkan bahwa penentuan entalpi dilakukan reaksi netralisasi antara asam dan basa, dimana dalam prosesnya akan melepaskan kalor yang kemudian akan dianalisis sehingga perubahan entalpi dapat ditentukan. Setelah melakukan praktikum, siswa kemudian dibimbing guru untuk menyusun laporan dan hasil temuannya dipresentasikan di kelas. Pembelajaran

diakhiri dengan evaluasi dan refleksi atas proses pemecahan masalah yang dilakukan selama praktikum.

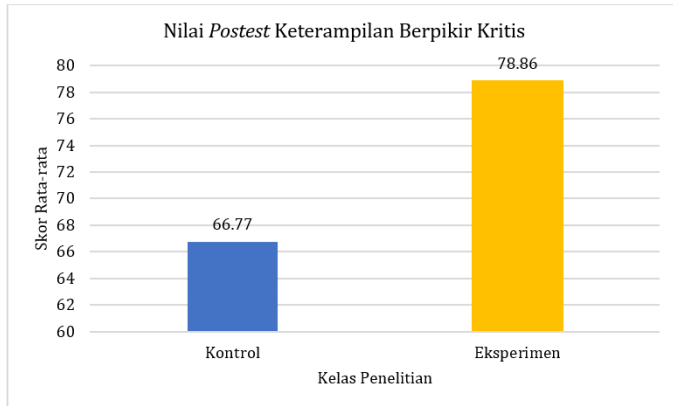
Model pembelajaran yang diterapkan di kelas kontrol adalah *teacher center learning*. Model pembelajaran ini memfokuskan peran guru sebagai fasilitator, dalam hal ini pengajar mampu memberikan fasilitasi dan pendampingan dalam proses pembelajaran sehingga dapat tercipta suasana pembelajaran yang nyaman (Pangabea *et al.*, 2021). Model ini digunakan untuk membandingkan perbedaan keterampilan berpikir kritis yang diperoleh dari kelas eksperimen dan kontrol. Kegiatan pembelajaran terdiri dari tiga tahap yaitu pendahuluan, kegiatan inti, dan penutup. Tahap inti dalam pembelajaran ini yaitu peneliti menyampaikan materi mengenai konsep termokimia dimana dalam setiap pertemuan membahas sub materi yang berbeda melalui ceramah dan penggunaan media yang membantu proses pembelajaran.

Setelah pendidik menyampaikan materi, pendidik memberikan contoh implementasi materi dalam bentuk soal dan mengarahkan siswa untuk diskusi sehingga memastikan siswa paham dengan topik pembelajaran, apabila dirasa siswa sudah cukup memahami materi maka pendidik dapat memberikan tugas atau latihan soal untuk

memperdalam pemahaman siswa. Tahap akhir dalam pembelajaran ini pendidik memberikan penjelasan ulang mengenai poin-poin yang sudah dipelajari, Kegiatan praktikum juga diterapkan pada kelas kontrol, namun praktikum yang dilakukan tidak menerapkan pendekatan *green chemistry*. Kegiatan praktikum ini bertujuan untuk menentukan perubahan entalpi menggunakan kalorimeter.

Perkembangan keterampilan berpikir kritis dilakukan melalui *posttest* yang diberikan kepada kelas penelitian setelah perlakuan, terutama pada siswa kelas eksperimen yang menerapkan model PBL berbasis *green chemistry*. *Posttest* perlu dilakukan karena bertujuan sebagai bahan evaluasi oleh guru dan mengukur taraf kemampuan siswa setelah mendapatkan pembelajaran (Syah, 2010). Berdasarkan analisis data, rata-rata nilai *posttest* yang diperoleh kelas eksperimen adalah 78,86 sedangkan untuk kelas kontrol sebesar 66,77 sebagaimana disajikan pada **Gambar 4.3**. Data tersebut menunjukkan perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis di kedua kelas, dengan rata-rata nilai kelas eksperimen lebih tinggi dari kelas kontrol. Peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa menunjukkan

keberhasilan penerapan model pembelajaran PBL dalam proses pembelajaran.



Gambar 4.3 Hasil Nilai *Posttest* Keterampilan Berpikir Kritis

Nilai keterampilan berpikir kritis yang telah diperoleh kemudian digunakan untuk uji prasyarat sebelum dilakukan uji parametrik. Pengujian parametrik hanya dapat dilakukan jika data memenuhi kriteria normalitas dan homogenitas (Hajaroh dan Raehanah, 2021). Kedua uji ini menjadi penting karena dapat dijadikan bahan evaluasi efektivitas penerapan pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Analisis data keterampilan berpikir kritis di kelas eksperimen dan kontrol berdistribusi normal berdasarkan perhitungan statistik dengan SPSS. Nilai signifikansi uji normalitas

pretest diperoleh 0,193 untuk kelas eksperimen dan 0,409 untuk kelas kontrol. Sementara nilai signifikansi pada uji normalitas *posttest* untuk kelas eksperimen dan kontrol masing-masing adalah 0,611 dan 0,111 yang mengindikasikan data berdistribusi normal dengan nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 0,05.

Langkah berikutnya dalam uji prasyarat adalah uji homogenitas, dengan menggunakan bantuan SPSS versi 16. Uji homogenitas bertujuan untuk menunjukkan bahwa data memiliki keseragaman (Wulanasari, 2016). Berdasarkan hasil perhitungan, nilai signifikansi uji homogenitas yang diperoleh sebesar 0,073 yang berarti data memiliki varian yang seragam. Pengambilan keputusan ini didasarkan pada perolehan nilai signifikansi uji homogenitasnya $> 0,05$. Analisis uji homogenitas menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan tidak mempengaruhi homogenitas data secara signifikan. Dengan demikian, perubahan keterampilan berpikir kritis lebih dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak ada hubungannya dengan variasi pada kedua kelas.

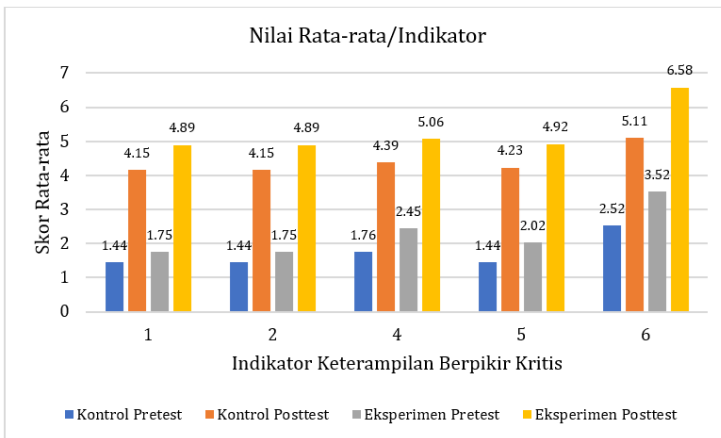
Setelah dipastikan data berdistribusi normal dan homogen, langkah berikutnya adalah melakukan uji hipotesis. Tujuan dari uji hipotesis adalah melihat apakah perbedaan rata-rata antara dua kelas cukup besar untuk

dianggap signifikan secara statistik (Wulanasari, 2016). Uji hipotesis dalam penelitian ini menggunakan uji *independent sample t-test* dengan bantuan perangkat lunak SPSS versi 16. Hasil uji t terhadap keterampilan berpikir kritis menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang diperoleh sebesar 0,00 yang lebih kecil dari 0,05.

Perolehan nilai signifikansi ini mengindikasikan bahwa hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima. Diterimanya hipotesis alternatif menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata keterampilan berpikir kritis siswa antara kelas kontrol dan eksperimen setelah diberikan perlakuan, sehingga perlakuan yang diberikan pada kelas eksperimen memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis. Rusman (2018) menjelaskan model PBL berkontribusi dalam mengembangkan keterampilan siswa dengan menanamkan pola pikir yang lebih luas, kritis, dan reflektif. Hal ini dapat terjadi karena pembelajaran PBL mengutamakan pemikiran analitis dan kemampuan siswa dalam merancang solusi terhadap berbagai masalah yang dihadapi (Larasati, Fibonacci, & Wibowo, 2018).

Berdasarkan hasil pengujian *independent t test*, maka dapat disimpulkan bahwa penerapan model PBL berbasis *green chemistry* terbukti efektif terhadap

keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil dari uji hipotesis ini tidak hanya memberikan bukti empiris tentang efektivitas metode tersebut, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan praktik pembelajaran yang lebih baik. Berikut merupakan diagram yang menunjukkan perbedaan hskor *pretest* dan *posttest* berdasarkan indikator pada kelas penelitian:



Gambar 4.4 Skor *pretest* dan *posttest* per indikator

Perkembangan keterampilan berpikir kritis siswa dapat dilihat dan dievaluasi melalui jawaban *pretest* dan *posttest*. Interpretasi merupakan indikator awal berpikir kritis, yaitu siswa mampu memahami gagasan yang disajikan dan memperjelas suatu makna. Pada soal ini siswa diminta untuk menentukan gambar yang merupakan

reaksi endoterm dengan disertasi alasan yang jelas. Berikut perbedaan jawaban siswa saat *pretest* dan *posttest*:

Jawaban *pretest*:

Gambar yang termasuk reaksi endoterm adalah gambar (1) dan (2) karena reaksi endoterm sendiri merupakan reaksi yang menyerap kalor dan terjadi perpindahan kalor dari lingkungan ke sistem. Sehingga pada saat percobaan suhu akan menjadi turun. Dan gambar yang sesuai adalah gambar (1) dan (2).

Gambar 4.5 Jawaban *pretest* indikator 1

Jawaban *posttest*:

Berdasarkan Gambar, Gambar (1) dan (2) yang menunjukkan terjadinya reaksi endoterm. Karena endoterm merupakan reaksi kimia yang berlangsung disertai perubahan energi berupa penyerapan kalor, sehingga menyebabkan penurunan suhu di sekitarnya. Maka dari itu gambar yang menunjukkan penurunan suhu dari kondisi awal ke kondisi akhir adalah gambar yang menandakan reaksi endoterm, yaitu gambar (1) dimana awalnya bersuhu 25°C menjadi 20°C dan gambar (2) yang awalnya bersuhu 25°C turun menjadi 22°C .

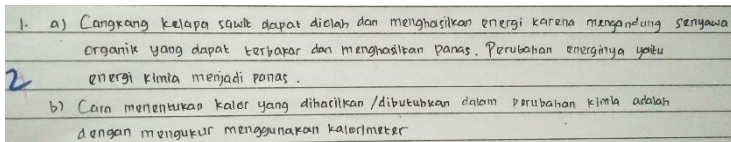
Gambar 4.6 Jawaban *posttest* indikator 1

Berdasarkan jawaban soal yang telah dituliskan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jawaban antara *pretest* dan *posttest* siswa. Jawaban *posttest* siswa telah mencerminkan pemahaman yang baik terhadap instruksi soal sehingga menunjukkan bahwa siswa telah mengerti inti dari pertanyaan.

Indikator kedua yaitu analisis, yaitu siswa mampu mengidentifikasi pendapat dan mampu menghubungkan berbagai informasi untuk menyelesaikan masalah. Soal pada indikator ini salah satunya adalah untuk mengetahui alasan cangkang kelapa sawit dapat diolah dan

menghasilkan energi. Berikut perbedaan jawaban *pretest* dan *posttest* siswa:

Jawaban *pretest*:

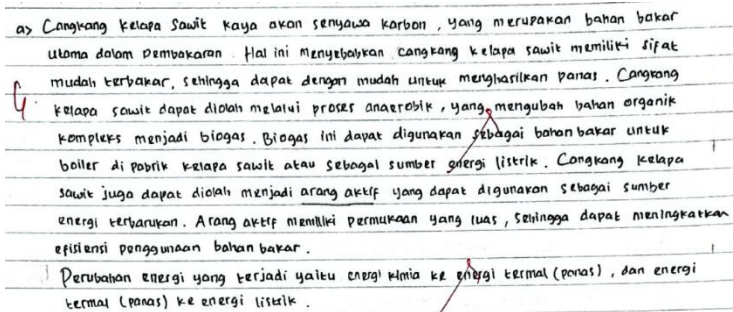


1. a) Cangkang kelapa sawit dapat diolah dan menghasilkan energi karena mengandung senyawa organik yang dapat terbakar dan menghasilkan Panas. Perubahan energinya yaitu energi kimia menjadi panas.

b) Cara menentukan kalor yang dihasilkan / dibutuhkan dalam perubahan kimia adalah dengan mengukur menggunakan kalorimeter

Gambar 4.7 Jawaban *pretest* indikator 2

Jawaban *posttest*:



a) Cangkang kelapa sawit kaya akan senyawa karbon, yang merupakan bahan bakar utama dalam pembakaran. Hal ini menyebabkan cangkang kelapa sawit memiliki sifat mudah terbakar, sehingga dapat dengan mudah untuk menghasilkan panas. Cangkang kelapa sawit dapat diolah melalui proses anaerobik, yang mengubah bahan organik kompleks menjadi biogas. Biogas ini dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler di pabrik kelapa sawit atau sebagai sumber energi listrik. Cangkang kelapa sawit juga dapat diolah menjadi arang aktif yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Arang aktif memiliki permukaan yang luas, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar.

b) Perubahan energi yang terjadi yaitu energi kimia ke energi termal (panas), dan energi termal (panas) ke energi listrik.

Gambar 4.8 Jawaban *posttest* indikator 2

Berdasarkan jawaban yang telah dijelaskan, mengindikasikan adanya perbedaan jawaban *pretest* dan *posttest*. Jawaban pada *posttest* siswa sudah mampu mengidentifikasi hubungan antara pernyataan dan konsep untuk mengungkapkan pendapat. Sedangkan pada jawaban *pretest* siswa belum mampu menjelaskan pendapatnya secara lengkap.

Indikator keempat adalah inferensi yaitu menentukan informasi yang masuk akal dan relevan

sehingga dapat dipertanggungjawabkan untuk kemudian dapat menghasilkan sebuah kesimpulan. Pada soal ini siswa diminta untuk menentukan besar energi yang diperlukan untuk membentuk 2 mol H_2O . Perbedaan jawaban *pretest* dan *posttest* pada soal ini cukup signifikan, kebanyakan dari siswa belum bisa menjawab soal ini pada saat *pretest*. Sedangkan saat diberikan *posttest* siswa sudah mampu memberikan kesimpulan berdasarkan informasi yang diterimanya. Berikut merupakan jawaban *posttest* pada soal ini:

Jawaban *posttest*:

Pembentukan 2 mol H_2O dari proses reaksi $2H_2 + O_2$ kemudian menjadi $4H + 2O_2$ yaitu dengan menyerap kalor dari lingkungan sehingga nilai perubahan entalpinya positif sedangkan dari $4H + 2O$ menjadi $2H_2O$ terjadi pelepasan kalor sehingga termasuk reaksi eksoterm dengan nilai perubahan entalpinya negatif. Sehingga besar perubahan entalpi pada pembentukan 2 mol H_2O adalah -484 kJ.

Penjelasan merupakan indikator kelima dari keterampilan berpikir kritis, yaitu siswa mampu menyajikan hasil penalaran dengan sistematis dan memberikan alasan secara menyeluruh berdasarkan jawaban yang dikemukakan. Berikut perbedaan jawaban *pretest* dan *posttest* siswa.

Jawaban *pretest*:

Menurut saya yang termasuk ke dalam reaksi endoterm yaitu, (1 dan 2). Karena reaksi endoterm itu biasanya memiliki penurunan suhu.

Gambar 4.9 Jawaban *pretest* indikator 5

Jawaban *posttest*:

A.1. Fenomena gunung berapi termasuk ke dalam sistem terbuka karena, terdapat aliran materi dan energi antara sistem dan lingkungannya, hal ini sesuai dengan Prinsip sistem terbuka. Selama letusan, gas, material vulkanik, dan energi panas dilepaskan ke lingkungan. Hal ini juga menunjukkan bahwa sistem gunung berapi tidak terisolasi dari lingkungan sekitarnya dan dapat memengaruhi serta dipengaruhi oleh

Gambar 4.10 Jawaban *posttest* indikator 5

Berdasarkan jawaban dari siswa maka dapat diidentifikasi perbedaan jawaban antara *pretest* dan *posttest*, pada jawaban *posttest*, siswa sudah mampu memberikan penjelasan disertai dengan alasan yang tepat artinya siswa sudah mampu mengungkapkan fakta yang relevan.

Sebagai indikator terakhir, regulasi diri menuntut siswa mampu mengkaji ulang atau memverifikasi hasil yang telah dijelaskan. Sebagai contoh pada salah satu soal siswa diarahkan untuk memberikan alasan dibalik fenomena yang disajikan, kemudian untuk memperkuat

alasan siswa diminta untuk mengkaji ulang mengenai perbedaan sistem terbuka dan tertutup dan bagaimana perbedaan ini mempengaruhi pertukaran energi dan materi. Berikut perbedaan jawaban *pretest* dan *posttest* siswa:

Jawaban *pretest*:

Sistem terbuka terjadi pertukaran materi dan energi dengan lingkungan sekitarnya, sedangkan sistem tertutup tidak terjadi pertukaran pada materi atau energi bahkan keduanya. Dalam sistem terbuka fenomena terjadi pada tempat yang terbuka, sehingga memungkinkan materi atau energi untuk keluar-masuk. Pada sistem tertutup cenderung terjadi pada ruang yang tertutup sehingga membatasi materi dan energi untuk bertukar atau keluar-masuk.

Gambar 4.11 Jawaban *pretest* indikator 6

Jawaban *posttest*:

b) Perbedaan antara Sistem Terbuka dan Sistem tertutup dalam konteks Termodinamika.

- Sistem Terbuka : Sistem terbuka dapat melakukan pertukaran materi dan energi dengan lingkungan sekitar. Contohnya, gunung berapi aktif mengeluarkan gas vulkanik dan energi panas ke lingkungan sekitarnya, yang berarti bahwa sistem ini berinteraksi dengan lingkungan luar dan mengubahnya secara signifikan. Dalam konteks termodinamika, sistem terbuka dapat mengalami perubahan dalam jumlah massa atau energi sistem sebagai hasil interaksi dengan lingkungan.
- Sistem Tertutup : Sistem tertutup tidak melakukan pertukaran materi dan energi secara signifikan dengan lingkungan luar. Contohnya, rumah kaca mengatur suhu dan kelembaban dengan menggunakan ventilasi, tetapi tidak membiarkan material atau energi masuk-keluar secara bebas. Dalam konteks termodinamika, sistem tertutup beroperasi secara isolasi, dengan energi dan material yang tetap/dipertahankan tetap dalam sistem, tidak ada perubahan signifikan dalam jumlah massa atau energi sistem sebagai hasil interaksi dengan lingkungan.
- Pengaruh perbedaan terhadap pertukaran Energi dan Materi
 - Sistem terbuka : Energi dan materi dapat berpindah secara aktif antara sistem dan lingkungan, menyebabkan perubahan termal dan komposisi materi yang signifikan.
 - Sistem Tertutup : Energi lebih dominan dalam pertukaran, dengan materi relatif terjaga, sehingga perubahan lebih difokuskan pada pengaturan energi dan radiasi.

Gambar 4.12 Jawaban *posttest* indikator 6

Jawaban siswa pada indikator ini mengindikasikan adanya perbedaan antara *pretest* dan *posttest*. Pada jawaban *pretest* siswa belum mampu mengkaji ulang atau memverifikasi hasil yang telah dijelaskan sementara pada jawaban *posttest* siswa sudah mampu mengkaji ulang jawaban yang dituliskan dengan bahasa sendiri. Jawaban yang diberikan siswa dapat melatih mengeluarkan pikiran dalam bentuk kalimat atau bahasa yang teratur (Rahman dan Nasryah, 2019). Kemampuan ini mencerminkan bahwa siswa sudah mampu untuk melakukan evaluasi terhadap semua keputusan yang diambilnya.

Perbedaan yang terlihat dalam jawaban menunjukkan adanya perkembangan yang cukup signifikan antara jawaban *pretest* dan *posttest*. Berdasarkan hasil *pretest*, jawaban siswa cenderung kurang mendalam dan fokus pada informasi dasar sehingga analisis yang disampaikan untuk memberikan solusi dari permasalahan kurang maksimal, yang disebabkan oleh kurangnya kebiasaan siswa dalam berpikir secara kritis. Namun, pada hasil *posttest* jawaban siswa relatif lebih mendalam, terstruktur dan dapat menghubungkan dengan prinsip *green chemistry* secara lebih jelas.

Keterampilan berpikir kritis siswa dapat berkembang melalui penerapan model pembelajaran PBL

yang berfokus pada *green chemistry*, siswa didorong untuk memecahkan masalah nyata yang relevan dengan situasi kehidupan. Pembelajaran berbasis masalah ini mampu mengajak siswa untuk mengidentifikasi, menganalisis dan mencari solusi terhadap masalah yang disajikan di awal pembelajaran (Syamsidah and Suryani, 2018). Integrasi prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran juga memberikan konteks nyata dan bermakna sehingga tidak hanya konsep kimia saja yang dikembangkan tetapi juga penerapan prinsip *green chemistry* dalam proses berpikir siswa. Pembelajaran berbasis masalah ini juga melibatkan tahapan berpikir seperti mengevaluasi, menghubungkan konsep dan pada akhirnya siswa dapat menyusun argumen yang logis sesuai dengan fakta, serta yang tidak kalah penting adalah dapat mendukung kemampuan kolaborasi dan diskusi antar anggota kelompok yang merupakan faktor penting dalam menumbuhkan keterampilan berpikir kritis (Zadugisti, 2010). Melalui pemecahan masalah yang relevan siswa didorong untuk mengasah keterampilan berpikir secara mendalam sehingga keterampilan berpikir kritis mereka meningkat secara signifikan.

Pengaruh model pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis diukur

menggunakan uji *effect size*, yang memberikan gambaran mengenai perbedaan efek antara dua kelompok dalam penelitian (Cohen, 2013). Hasil analisis *effect size* yang diperoleh sebesar 1,049 yang menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa memiliki perbedaan efek yang signifikan dalam kelas penelitian, dan hasilnya termasuk dalam kategori tinggi. Dengan demikian, penerapan model PBL berbasis *green chemistry* terbukti efektif terhadap keterampilan berpikir kritis siswa, sebagaimana terlihat dari efek tinggi yang diperoleh.

Kriteria *effect size* sebesar 84% berdasarkan kategori yang dicetuskan oleh Cohen, Manion & Marrison (2018) menunjukkan bahwa ada potensi untuk memperbaiki kualitas pembelajaran, yang dapat berkontribusi pada peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Meskipun hasil penelitian ini sudah signifikan efektif terhadap keterampilan berpikir kritis, tetapi masih perlu adanya perbaikan dan evaluasi dalam implementasi model pembelajaran berorientasi pada prinsip *green chemistry*.

Hasil penelitian ini relevan dan mendukung penelitian sebelumnya yang dilakukan Saputri dan Suprihatiningrum (2023) yang menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran PBL pada materi asam

basa dapat meningkatkan keterampilan berpikir dan *green chemistry skills*. Penelitian Amin *et al.* (2020) juga menyatakan bahwa model PBL terbukti memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap keterampilan berpikir kritis dan sikap lingkungan siswa dibandingkan dengan model konvensional, hal ini dapat terjadi karena proses pembelajaran dipicu dengan adanya masalah sehingga dapat menumbuhkan keterampilan berpikir kritis siswa. Model pembelajaran PBL memiliki dampak terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar siswa, sebagaimana tercermin dalam penelitian Bashith dan Amin (2017), yang menemukan bahwa gain score kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol.

Penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa penerapan model PBL berbasis *green chemistry* secara signifikan efektif terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Besarnya efek keterampilan berpikir kritis pada penelitian ini dijelaskan dengan data kuantitatif, hal ini menjadi pembeda dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yang pada umumnya hanya melihat pengaruh pembelajaran PBL terhadap keterampilan berpikir kritis saja tanpa melakukan pengukuran kuantitatif untuk

menentukan sejauh mana perubahan keterampilan berpikir kritis.

Penelitian ini juga berorientasi pada penerapan prinsip *green chemistry* pada model pembelajaran yang digunakan, sehingga tidak hanya berkontribusi terhadap kemampuan pedagogik siswa tetapi juga dapat membantu siswa memahami konsep kimia secara kontekstual serta mendorong kesadaran untuk mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mendukung penelitian sebelumnya tapi dapat memperkaya literatur dalam pendidikan kimia dengan menyediakan bukti empiris mengenai efektivitas PBL berbasis *green chemistry* terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi pendidik maupun pengembang kurikulum untuk menciptakan pembelajaran yang inovatif dan relevan.

D. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan secara maksimal, namun peneliti sadar masih ada keterbatasan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Keterbatasan Tempat

Penelitian ini difokuskan di SMA N 03 Semarang, sehingga hasil yang diperoleh bisa berbeda jika diterapkan di sekolah atau lokasi lain.

2. Keterbatasan Materi

Fokus materi dalam penelitian ini terbatas pada bab termokimia, sehingga hasil yang didapat bisa berbeda jika diterapkan pada materi yang lain.

3. Keterbatasan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada pertengahan semester gasal bertabrakan dengan jadwal program P5, sehingga penelitian yang dilakukan periode yang singkat yaitu 9 x pertemuan dengan durasi mengajar 45 menit/1 JP. Oleh karena itu, apabila penelitian dilakukan dengan jangka waktu berbeda akan mendapatkan hasil yang berbeda pula.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di SMA N 03 Semarang bahwa penerapan model pembelajaran PBL berbasis *Green Chemistry* efektif terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Hal ini dibuktikan dengan nilai signifikansi uji hipotesis (2-tailed) menggunakan *Independent t-test* yang dihasilkan kurang dari 0,05 yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata keterampilan berpikir kritis siswa yang signifikan. Sementara besar efek yang dihasilkan dalam keterampilan berpikir kritis diukur menggunakan uji *effect size* dengan didapatkan hasil analisis sebesar 1.049 atau 84%. Efek terampilan berpikir kritis ini dikategorikan tinggi berdasar pada interpretasi nilai efek menurut Cohen's.

B. Implikasi

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka implikasi dari penelitian ini sebagai berikut:

1) Implikasi praktis

Penelitian yang telah dilakukan dengan menerapkan model pembelajaran PBL berbasis *green*

chemistry terbukti dapat mendorong siswa untuk menganalisis masalah nyata di lingkungan dan menemukan solusi melalui pendekatan *green chemistry* dan juga berpengaruh positif pada peningkatan keterampilan berpikir kritis.

2) Implikasi teoritis

Hasil penelitian ini menawarkan alternatif dan memperkaya teori mengenai penerapan model pembelajaran PBL yang berorientasi pada prinsip *green chemistry*, yang dapat diterapkan dalam pembelajaran kimia. Implikasi teoritisnya yaitu model pembelajaran PBL berbasis *green chemistry* dapat memfasilitasi peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa.

3) Implikasi untuk penelitian selanjutnya

Penelitian ini telah memberikan pemahaman baru bahwasanya penerapan model PBL berbasis *Green Chemistry* efektif terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi lebih jauh salah satunya dengan meneliti pengaruh jangka panjang atau mengkaji perbedaan pengaruh penerapan model yang sama tetapi mengukur keterampilan yang berbeda.

C. Saran

Penelitian ini tentu memiliki keterbatasan dan kekurangan, oleh karena itu apabila penelitian selanjutnya berminat menerapkan model pembelajaran *Problem Based Learning* berbasis *Green Chemistry* disarankan untuk memaksimalkan setiap tahap pembelajaran sehingga keterampilan berpikir kritis siswa yang didapatkan juga optimal. Disarankan pula untuk memilih penggunaan media pembelajaran yang beragam sehingga dapat membantu kegiatan belajar, hal ini perlu dipertimbangkan karena media yang inovatif dan beragam dapat meningkatkan daya tarik dan kemauan siswa untuk belajar dan mengeksplor keterampilan siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, M., Chamalah, E. and Wardani, O.P. (2009) *Model dan Metode Pembelajaran di Sekolah. I, Computer Physics Communications. I*. Semarang: UNISSULA Press.
- Akhiruddin *et al.* (2019) *Belajar dan Pembelajaran*. 1st edn. Edited by Jalal. Gowa: CV.Cahaya Bintang Cemerlang.
- Al-Tabany, T.I.B. (2017) *Mendesain Model Pembelajaran Inovatif, Progresif, dan Kontekstual*. Jakarta: Kencana.
- Amin, S. *et al.* (2020) 'Effect of Problem-Based Learning on Critical Thinking Skills and Environmental Attitude', *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(2), pp. 743–755.
- Anastas, P. and Eghbali, N. (2010) 'Green Chemistry: Principles and Practice', *Chemical Society Reviews*, 39(1), pp. 301–312.
- Anastas, P.T. and Warner, J.C. (1998) 'Green chemistry', *Frontiers*, 640(1998), p. 850.
- Ardila-Fierro, K.J. and Hernández, J.G. (2021) 'Sustainability Assessment of Mechanochemistry by Using the Twelve Principles of Green Chemistry', *ChemSusChem*, 14(10), pp. 2145–2162.
- Arends, R.I. (2015) *Learning to Teach*. 6th edn. Edited by B. Mejia. New York: McGraw-Hill.
- Arfandi and Samsudin, M.A. (2021) 'Peran Guru Profesional Sebagai Fasilitator Dan Komunikator Dalam Kegiatan Belajar Mengajar', *Edupeedia : Jurnal Studi Pendidikan dan Pedagogi Islam*, 5(2), pp. 37–45.
- Arifin, Z. (2009) *Evaluasi Pembelajaran Vol 2*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Arikunto, S. (2021) *Dasar-dasar evaluasi pendidikan edisi 3*. Bumi Aksara.
- Ariyatun, A. and Octavianelis, D.F. (2020) 'Pengaruh Model Problem Based Learning Terintegrasi STEM Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa', *JEC: Journal of*

Educational Chemistry, 2(1), p. 33.

- Asmara, A. and Septiana, A. (2023) *Model Pembelajaran Berkonteks Masalah*. 1st edn. Edited by M. Suardi. Bengkulu: CV. Azka Pustaka.
- Assidiq, I. *et al.* (2022) 'The Effect of Active Learning Model of Quiz Team Type on the Learning Outcomes of Students', *Edumaspul: Jurnal Pendidikan*, 6(2), pp. 1446–1449.
- Asyafah, A. (2019) 'MENIMBANG MODEL PEMBELAJARAN (Kajian Teoretis-Kritis atas Model Pembelajaran dalam Pendidikan Islam)', *TARBAWY: Indonesian Journal of Islamic Education*, 6(1), pp. 19–32.
- Chang, R. and Overby, J. (1986) *General chemistry*. Random House New York.
- Cohen, J. (2013) *Statistical Power Analysis fo the Behavioral Sciences*. 2nd edn. New York: Routledge.
- Cohen, L., Manion, L. and Marrison, K. (2018) *Research Methods in Education, 8th edition*. 8th edn. New York: Routledge.
- Delisle, R. (1997) *How to Use Problem Based Learning in thr Classroom*. United States of Amerika: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Dewey, J. (2022) *How we think*. DigiCat.
- Elfina, S. and Sylvia, I. (2020) 'Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Problem Based Learning (PBL) dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Mata Pelajaran Sosiologi di SMA Negeri 1 Payakumbuh', *Jurnal Sikola: Jurnal Kajian Pendidikan dan Pembelajaran*, 2(1), pp. 27–34.
- Ennis, R.H. (1985) 'Goals for a critical thinking curriculum', *Developing minds: A resource book for teaching thinking*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development, pp. 68–72.
- Facione, P. a. (1992) 'Critical Thinking : What It Is and Why It Counts', *Insight assessment*, (ISBN 13: 978-1-891557-07-1.), pp. 1–28.
- Fitriani, R. and Irawan, A.A. (2019) 'Peningkatan Kemampuan

- Berpikir Kritis Peserta Didik SMP Kelas VII melalui Pembelajaran Berbasis Masalah', *Bioedusiana*, 4(2), pp. 8–14.
- Gregory, R.J. (2015) *Psychological Testing: History, Principles, and Applications*. 7th edn, *Global Edition*. 7th edn. Edited by A. Dodge. India: Perason Education.
- Haerullah, A. and Hasan, S. (2017) *Model & Pendekatan Pembelajaran Inovatif (Teori dan Aplikasi)*. 1st edn. Edited by T. Abdullah. Yogyakarta: Lintas Nalar.
- Hajaroh, S. and Raehanah (2021) *Statistika Pendidikan (Teori dan Praktik)*. Edited by E. Muliadi. Mataram: Sanabil.
- Hamidah, K. and Suherman, S. (2016) 'Proses Berpikir Matematis Siswa dalam Menyelesaikan Masalah Matematika di tinjau dari Tipe Kepribadian Keirsey', *Al-Jabar : Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(2), pp. 231–248.
- Harun, N.F. *et al.* (2012) 'Motivation in Problem-based Learning Implementation', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56(Ictlhe), pp. 233–242.
- Hasriadi (2022) *Strategi Pembelajaran*. 1st edn. Edited by Firman. Yogyakarta: Mata Kata Inspirasi.
- Helmiati (2012) *Model Pembelajaran*. 1st edn, *Aswaja Pressindo*. 1st edn. Edited by Agvenda and L. Susanti. Yogyakarta: Aswaja Pressindo.
- Ichsan *et al.* (2023) 'The Effectiveness of STEM-Based Learning in Teaching 21 st Century Skills in Generation Z Student in Science Learning: A Meta-Analysis', *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1), pp. 150–166.
- Isrokátun and Rosmala, A. (2019) *Model-Model Pembelajaran Matematika*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Johnson, E.B. (2002) 'Contextual Teaching and Learning: What it is and why it's here to stay', in *Corwin Press, INC*. United States of Amerika.
- Joyce, B. and Weil, M. (2003) *Models of Teaching Fifth Edition*. 5th edn, *Prentice Hall of India*. 5th edn. New Delhi.
- Larasati, M., Fibonacci, A. and Wibowo, T. (2018)

- 'Pengembangan Modul Berbasis Problem Based Learning pada Materi Polimer Kelas XII SMK Ma'arif NU 1 Sumpiuh', *JTK (Jurnal Tadris Kimiya)*, 3(1), pp. 32–41.
- Lidyawati, Gani, A. and Khaldun, I. (2017) 'Penerapan Model Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Dan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik Pada Materi Larutan Penyangga', *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 5(1), pp. 140–146.
- Min, L. (2005) *Motivating Students Through Problem-Based Learning*. Austin: University of Texas.
- Nurmanita, N., Siagian, P. and Sitompul, P. (2019) 'Development of Learning Device through Problem Based Learning Model Assisted by Geogebra to Improve Students' Critical Mathematical Thinking Ability', *Journal of Mathematical Sciences and Applications*, 7(1), pp. 1–9.
- OECD (2023) *PISA 2022 Result (Volume 1): The State of Learning and Equity in Education*, OECD Publishing. Paris.
- Pangabeian, S. et al. (2021) *Sistem Student Center Learning dan Teacher Center Learning, Sistem Student Center Learning dan Teacher Center Learning*. Edited by A. Munandar. Jawa Barat: CV Media Sains Indonesia.
- Paul, R. and Elder, L. (2008) *The Miniature Guide to Critical Thinking Concept and Tools*. California: Foundation for Critical Thinking.
- Priyatno, D. (2013) 'Analisis korelasi, regresi dan multivariate dengan SPSS', *Yogyakarta: Gava Media* [Preprint].
- Purnomo, A. et al. (2022) *Pengantar Model Pembelajaran*. 1st edn. Edited by M. Yahya, Andrias, and I. Abbas. Lombok Tengah: Yayasan Hamjad Diha.
- Purwanto, N. (1986) *Prinsip-Prinsip dan Teknik Evaluasi Pengajaran*. 6th edn. Bandung: Remadja Karya.
- Rahman, A.A. and Nasryah, C.E. (2019) *Evaluasi Pembelajaran, Uwais Inspirasi Indonesia*. Jawa Timur: Uwais Inspirasi Indonesia.

- Rahmawati, H., Pujiastuti, P. and Cahyaningtyas, A.P. (2023) 'Kategorisasi Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas Empat Sekolah Dasar di SD se-Gugus II Kapanewon Playen, Gunung Kidul', *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 8(1), pp. 88–104.
- Ridwan, S.L. (2021) 'Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Peserta Didik Melalui Model Pembelajaran Discovery Learning', *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 5(3), pp. 637–656.
- Risna, R., Hasan, M. and Supriatno, S. (2019) 'Penerapan Model Inkuiri Terbimbing Berorientasi Green Chemistry untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Materi Larutan Penyangga', *JUPI (Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA)*, 3(2), pp. 106–118.
- Rosita, A., Sudarmin and Marwoto, P. (2014) 'Perangkat Pembelajaran Problem Based Learning Berorientasi Green Chemistry Materi Hidrolisis Garam untuk Mengembangkan soft Skill Konservasi Siswa', *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 3(2), pp. 134–139.
- Rusman (2018) *Belajar dan Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*. 1st edn. Jakarta: Prenadamedia Group.
- Sanjaya, W. (2006) *Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*. 1st edn. Jakarta: Prenada Media.
- Saputri, L.R. and Suprihatiningrum, J. (2023) 'Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) Materi Asam Basa Untuk Meningkatkan Critical Thinking Dan Green Chemistry Skill', *UNESA Journal of Chemical Education*, 12(3), pp. 225–236.
- Sastrika, I.A.K., Sadia, I.W. and Muderawan, I.W. (2013) 'Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Proyek Terhadap Pemahaman Konsep Kimia Dan Keterampilan Berpikir Kritis', *Journal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha*, 3(2).
- Silaban, R. *et al.* (2021) 'Efektivitas Model Problem Based Learning Bermediakan Lembar Kerja Peserta Didik

- terhadap Hasil Belajar Kimia dan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik SMA', *Jurnal Ilmu Pendidikan Indonesia*, 9(1), pp. 18–26.
- Simanjuntak, M.F. and Sudibjo, N. (2019) 'Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Dan Kemampuan Memecahkan Masalah Siswa Melalui Pembelajaran Berbasis Masalah [Improving Students' Critical Thinking Skills and Problem Solving Abilities Through Problem-Based Learning]', *JOHME: Journal of Holistic Mathematics Education*, 2(2), p. 108.
- Sirhan, G. (2007) 'Learning Difficulties in Chemistry: An Overview', *Journal of Turkish Science Education*, 4(2), pp. 2–20.
- Sternberg, R.J. (1986) 'Critical Thinking: Its Nature, Measurement and Improvement', *National Institute of Education, Washington, DC.*, p. 37.
- Sudijono, A. (2001) 'Pengantar evaluasi pendidikan'.
- Sugiyono (2015) *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sulistiyowarni, P.A.D. *et al.* (2019) 'The effectiveness of OR-IPA teaching model to improve students' critical thinking skills on senior high school physics subject', *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3), pp. 0–7.
- Suryanto, M.H. (2021) 'Analisa Berbagai Metode Mengkonversi Sampah Plastik Menjadi Energi Listrik Prosiding', *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 6, pp. 159–166.
- Sutikno, M.S. (2019) *Metode & Model-Model Pembelajaran*. 1st edn. Edited by P. Hadisaputra. Lombok: Holistica.
- Syah, M. (2010) *Psikologi Belajar*. Jakarata: Rajawali Pers.
- Syamsidah and Suryani, H. (2018) *Buku Model Peoblem Based Learning (PBL)*. 1st edn, *Buku*. 1st edn. Edited by H. Ramadhani and N.F. Subekti. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Trianto (2009) *Mendesain Model Pembelajaran Inovatif-Progresif*. 1st edn. Jakarta: Kencana.

- Watson, G. and Glaser, E.M. (2010) 'Critical Thinking Appraisal', *The Fourteenth Mental Instruments Measurements Year Book*, 14, pp. 1121–1125.
- Wayudi, M., Suwatno, S. and Santoso, B. (2020) 'Kajian Analisis Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Menengah Atas', *Jurnal Pendidikan Manajemen Perkantoran*, 5(1), pp. 67–82.
- Widyaningrum, W. *et al.* (2023) 'Pengaruh Penerapan Blended Problem Based Learning terhadap Kemampuan Berpikir Kritis pada Materi Larutan Penyangga', *Chemistry in Education*, 12(1), pp. 89–97.
- Wulanasari, A.D. (2016) *Aplikasi Statistika Parametrik dalam Penelitian, Sustainability (Switzerland)*. Edited by R. Widyaningrum. Yogyakarta: Pustaka Felicha.
- Zaduqisti, E. (2010) 'Problem-Based Learning (Konsep Ideal Model Pembelajaran untuk Peningkatan Prestasi Belajar dan Motivasi Berprestasi)', *Jurnal Tarbiyah Sekolah Tinggi Agama Islam (STAIN) Pekalongan*, 8(2), pp. 181–191.
- Zahro, M. and Lutfianasari, U. (2024) 'Penerapan Model Pembelajaran Problem-Based Learning terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Aktivitas Belajar Peserta Didik pada Materi Hidrolisis Garam', *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 18(1), pp. 17–22..
- Zimmerman, J.B. *et al.* (2020) 'Designing for a Green Chemistry Future', *Science*, 367(6476), pp. 397–400.