

BAB 2

LANDASAN TEORETIS

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Hakikat Pembelajaran

a. Teori Belajar

Teori adalah himpunan konsep yang saling berkaitan, definisi, dan proposisi yang disusun secara sistematis untuk menjelaskan dan memprediksi fenomena tertentu (Cooper & Schinder, 2006). Menurut Kerlinger (1978) dalam Sugiyono (2020), teori adalah sekumpulan konstruk (konsep), definisi, dan proposisi yang saling berhubungan, yang menyajikan pandangan sistematis tentang fenomena dengan menjelaskan hubungan antar variabel, untuk menjelaskan dan memprediksi fenomena tersebut secara terstruktur dan logis. Teori adalah suatu generalisasi atau rangkaian generalisasi yang digunakan untuk menjelaskan fenomena secara sistematis (Wiersma, 2000).

Belajar didefinisikan sebagai proses memperoleh pengetahuan melalui penalaran (Schneider, 2024). Belajar adalah proses di mana modifikasi yang relatif stabil dalam hubungan stimulus-respons dikembangkan sebagai hasil dari interaksi fungsional dengan lingkungan melalui indera (Lachman, 1997). Menurut Von (1995), belajar tidak dapat dipandang sebagai reaksi sederhana terhadap rangsangan, tetapi merupakan proses yang melibatkan kemampuan untuk mengatur diri sendiri dan membangun pemahaman konseptual melalui proses refleksi dan abstraksi. Dari sudut pandang peserta didik, belajar adalah proses peningkatan kemampuan untuk mencapai tujuan melalui pengalaman, meskipun menghadapi berbagai hambatan (Washburne, 1936).

Menurut Gage (1984) dalam Dahar (2021), terdapat lima bentuk utama belajar yang mencerminkan beragam proses kognitif dan perilaku. Pertama, belajar responden, yang berakar pada teori Pavlov, terjadi ketika individu mengasosiasikan dua stimulus sehingga menghasilkan respons yang serupa, misalnya dalam pembentukan refleks terkondisi. Kedua, belajar kontiguitas, yang menekankan bahwa respons akan lebih mudah dipelajari jika diikuti dengan stimulus secara konsisten dan waktunya berdekatan. Ketiga, belajar *operant*,

berdasarkan teori Skinner, melibatkan penguatan atau hukuman sebagai konsekuensi dari suatu perilaku, yang bertujuan meningkatkan atau mengurangi frekuensi perilaku tersebut. Keempat, belajar observasional, sesuai dengan teori Bandura, terjadi ketika individu memperoleh perilaku atau keterampilan baru dengan mengamati dan meniru orang lain tanpa memerlukan pengalaman langsung. Kelima, belajar kognitif, menekankan pada proses internal seperti pemahaman, penyelesaian masalah, dan pengolahan informasi, di mana individu membangun makna melalui pengalaman dan refleksi.

Fungsi teori menurut Creswell (2014) adalah sebagai alat untuk menjelaskan, memprediksi, dan memahami fenomena yang diteliti dengan memberikan hubungan antara konsep-konsep yang relevan. Selain itu, teori membantu dalam merumuskan hipotesis, mendukung interpretasi data, dan memberikan wawasan dalam menganalisis hasil penelitian (Neuman, 2014). Yin (2018) juga menekankan bahwa teori berfungsi sebagai pedoman dalam memilih metode penelitian yang sesuai serta dalam pengembangan instrumen penelitian. Secara keseluruhan, teori tidak hanya berperan sebagai referensi konseptual, tetapi juga sebagai alat untuk menganalisis dan merumuskan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian (Bryman, 2012).

Menurut Akpan & Kennedy (2020), istilah teori memiliki beberapa makna, yaitu (1) sebagai sekumpulan pengetahuan yang koheren dan diterima secara luas untuk menjelaskan suatu fenomena, (2) wawasan tentang dunia alam yang masih bersifat tentatif namun dapat menjelaskan fenomena alam jika terbukti benar, (3) prinsip dasar dalam pelaksanaan suatu aktivitas, serta (4) gagasan yang dapat membimbing perilaku. Makna keempat membantu dalam memahami perilaku individu dalam kehidupan sehari-hari. Dua makna pertama lebih relevan dalam bidang ilmu alam dan terapan, sedangkan dalam konteks pendidikan, khususnya pengajaran dan pembelajaran, makna ketiga lebih dominan. Dalam hal ini, teori berfungsi sebagai alat yang serbaguna untuk memahami berbagai proses, terutama dalam mengoptimalkan efektivitas pengajaran agar menghasilkan pembelajaran yang lebih baik. Teori-teori dalam pengajaran dan pembelajaran sains

dikategorikan ke dalam lima kelompok, yaitu humanistik, behavioristik, kognitivistik, konstruktivistik, serta teori berbasis intelektual dan keterampilan.

1) Teori Humanistik

Menurut Akpan & Kennedy (2020), dalam teori pembelajaran humanistik, peserta didik mengamati tindakan orang lain beserta hasilnya, sementara guru berperan sebagai model di kelas yang harus memastikan perilaku yang tidak sesuai dapat dihindari serta memberikan alasan dan motivasi yang jelas saat menyampaikan tugas pembelajaran. Dalam pembelajaran sains, teori ini sangat menekankan pada kerja sama dan diskusi kelompok yang menciptakan lingkungan yang kondusif bagi peserta didik untuk mengamati rekan-rekan peserta didik. Teori humanistik dalam pembelajaran menekankan kebebasan peserta didik, menempatkan pengalaman subjektif dan makna sebagai pusat pembelajaran, berfokus pada keseluruhan individu, serta memperlakukan peserta didik dengan tingkat penghormatan yang tinggi, sehingga pada akhirnya peserta didik dipandang sebagai agen yang sangat aktif dalam proses belajar-mengajar. Namun, teori ini juga memiliki beberapa tantangan, misalnya terlalu menekankan kebebasan peserta didik dan kurangnya penerapan metode penelitian yang ketat dan objektif, sehingga sulit untuk membuat prediksi yang dapat diverifikasi atau dibantah.

2) Teori Behavioristik

Menurut Akpan & Kennedy (2020), behaviorisme adalah teori yang menyatakan bahwa perilaku manusia dan hewan merupakan respons terhadap stimulus dari lingkungan melalui proses pengondisian, tanpa mempertimbangkan faktor mental internal, serta meyakini bahwa perilaku kompleks terbentuk melalui interaksi dengan lingkungan. Teori behavioristik memiliki keunggulan dalam penggunaan metodologi eksperimental yang ketat, mendukung pengaruh lingkungan dalam pembelajaran, serta menjelaskan bagaimana informasi dan keterampilan dipelajari melalui pengondisian operan dan klasik, yang membentuk respons emosional seperti kemarahan, fobia, atau ketertarikan terhadap berbagai stimulus dan situasi. Keunggulan teori behavioristik dalam pembelajaran sains terlihat dari kecenderungan peserta didik untuk menghindari perilaku yang

mendapat penolakan dan mengulang tindakan yang menghasilkan konsekuensi positif. Behaviorisme dianggap terlalu deterministik karena menempatkan kendali perilaku sepenuhnya pada faktor lingkungan (*nurture*) dan mengabaikan peran faktor bawaan (*nature*), sehingga manusia dianggap sebagai pembelajar yang pasif.

3) Teori Kognitivistik

Menurut Akpan & Kennedy (2020), kognitivisme merupakan cabang psikologi pembelajaran yang menekankan pada beragam proses mental, termasuk berpikir, persepsi, pengingatan informasi, pembelajaran, dan penyelesaian masalah. Teori kognitif dapat diterapkan dalam berbagai bidang pengajaran serta pembelajaran sains, menunjukkan bagaimana fungsi otak manusia dalam proses belajar dan berpikir, serta dapat dikombinasikan dengan model teoretis lain berdasarkan sumber daya manusia dan material yang tersedia. Namun, ketergantungan pada ilmu kognitif cenderung mengabaikan aspek-aspek kemanusiaan seperti faktor genetik, biologis, dan ketidakseimbangan kimiawi dalam tubuh, serta hasil pengamatan di lingkungan yang terkendali mungkin tidak mencerminkan kondisi dunia nyata yang melibatkan berbagai stimulus yang bersaing untuk mendapatkan perhatian secara bersamaan.

Berikut adalah beberapa poin utama mengenai ilmu kognitif dalam kaitannya dengan pembelajaran menurut Woolfolk (2016):

- Pembelajaran selalu melibatkan otak, di mana otak tidak hanya membentuk tetapi juga dibentuk oleh aktivitas kognitif. Pengetahuan dan pemahaman merupakan hasil dari proses pembelajaran, di mana pengetahuan sebelumnya memiliki peran penting dalam pembelajaran di masa mendatang. Pengetahuan ini dapat bersifat umum maupun spesifik, atau dalam terminologi kognitif disebut sebagai domain-spesifik.
- Apa yang sudah diketahui atau perlu diketahui seseorang akan menentukan bagaimana memusatkan perhatian. Individu dengan gangguan pemusatan perhatian (*attention deficit disorder*) mengalami kesulitan dalam berkonsentrasi atau mengabaikan informasi yang bersaing. Peserta didik tidak

dapat memproses informasi yang tidak dikenali, sehingga perhatian menjadi faktor penting dalam proses pembelajaran.

- Memori kerja berfungsi sebagai tempat pemrosesan pikiran sadar yang menyimpan informasi yang sedang digunakan, sedangkan memori jangka panjang menyimpan informasi yang telah dipelajari dengan baik. Informasi yang hilang dari memori kerja akan lenyap sepenuhnya, tetapi informasi dalam memori jangka panjang dapat diambil kembali jika kondisi yang tepat terpenuhi. Namun, jika koneksi saraf melemah akibat jarang digunakan (peluruhan waktu), maka informasi dalam memori jangka panjang dapat hilang.
- Setiap individu memiliki perbedaan dalam kecepatan dan kemampuan mempelajari suatu tugas, yang dipengaruhi oleh pengetahuan dan keterampilan metakognitif. Metakognisi adalah kemampuan untuk berpikir tentang proses berpikir sendiri, yang mengatur pembelajaran melalui perencanaan, pemantauan, dan evaluasi.
- Strategi pembelajaran berperan penting dalam meningkatkan keterlibatan kognitif peserta didik selama proses pembelajaran.

(a) Teori Pemrosesan Informasi

Menurut Stout & Klett (2020), teori pemrosesan informasi merupakan model pembelajaran yang mengibaratkan kognisi manusia seperti proses kerja komputer, di mana peserta didik perlu diberi kesempatan untuk berpikir kritis terhadap informasi guna mencapai pembelajaran yang berkelanjutan. Akses informasi yang terus-menerus melalui internet bagi peserta didik dan guru memicu perdebatan terkait peran teknologi media baru serta kontennya dalam lingkungan kelas. Penggunaan teknologi media baru beserta kontennya dalam proses pembelajaran dapat mendukung pendekatan pengajaran yang lebih adaptif dan dinamis, sesuai dengan kebutuhan peserta didik di era modern. Pemahaman terhadap sifat partisipatif dan fungsi spesifik dari teknologi media baru menjadi faktor kunci dalam penerapan yang efektif di dalam kelas.

(b) Teori Tahapan Perkembangan Kognitif

Teori tahap perkembangan kognitif pertama kali dikembangkan oleh Jean Piaget didasarkan pada konsep utama, yaitu skema, adaptasi, asimilasi, akomodasi, tahap, dan operasi, di mana proses asimilasi dan akomodasi terjadi secara otomatis serta dipengaruhi oleh faktor keturunan, pengalaman fisik, dan transmisi sosial (Oogarah-Pratap et al., 2020). Jean Piaget mengidentifikasi empat tahap perkembangan kognitif pada anak, yaitu tahap sensori-motor, tahap pra-operasional, tahap operasional konkret, dan tahap operasional formal (Saul, 2024). Pada tahap operasional formal ditandai dengan kemampuan anak untuk menggunakan metode ilmiah secara mandiri, menyelesaikan masalah secara logis dan sistematis, serta memahami konsep abstrak. Pada tahap ini, anak dapat membayangkan solusi sebelum mencobanya. Tahap ini dapat dicapai sejak usia 11 tahun, tetapi beberapa orang dewasa mungkin tidak mencapainya tanpa pelatihan pemecahan masalah atau aktivitas yang melatih berpikir kritis.

Charlesworth (2016) mengungkapkan bahwa menurut Jean Piaget, anak-anak memperoleh pengetahuan dengan membangun pemahaman melalui pengalaman dan konsep yang sudah ada. Piaget membagi pengetahuan menjadi tiga jenis, yaitu: (1) Pengetahuan fisik, yang mencakup karakteristik objek di lingkungan seperti warna, berat, ukuran, dan tekstur yang dapat diamati secara langsung; (2) Pengetahuan logiko-matematis, yang melibatkan hubungan seperti perbedaan, jumlah, klasifikasi, dan pola untuk memahami dan mengorganisasi informasi; serta (3) Pengetahuan sosial atau konvensional, yaitu aturan perilaku yang diciptakan oleh masyarakat. Pengetahuan fisik dan logiko-matematis saling bergantung dan dipelajari secara bersamaan.

Kamii (1984) mengungkapkan bahwa tujuan utama pendidikan menurut Jean Piaget adalah kemandirian atau *autonomy*. Kemandirian intelektual berkembang dalam lingkungan di mana anak merasa aman dalam hubungannya dengan orang dewasa dan memiliki kesempatan untuk berbagi ide dengan teman sebaya. Dalam lingkungan seperti ini, anak didorong untuk menjadi waspada dan ingin tahu, mengajukan ide serta pertanyaan menarik, berinisiatif mencari solusi, percaya pada kemampuannya sendiri, dan berani mengungkapkan pendapat. Anak-anak

perlu diberikan masalah yang dapat diselesaikan melalui permainan dan aktivitas yang menantang pemikiran anak, dengan menggunakan bahan konkret dan permasalahan nyata.

Oogarah-Pratap et al. (2020) mengungkapkan bahwa menurut Lev Vygotsky, perkembangan kognitif anak dipengaruhi oleh faktor internal dan lingkungan eksternal, di mana manusia tidak hanya mengembangkan alat fisik untuk menguasai lingkungan, tetapi juga alat mental seperti bahasa, tulisan, dan angka yang disebut sebagai tanda (*signs*). Vygotsky meyakini bahwa bahasa lisan merupakan sistem tanda paling penting karena tidak hanya memungkinkan manusia terbebas dari gangguan dan membantu memecahkan masalah dalam pikiran, tetapi juga memungkinkan anak berinteraksi secara sosial serta memfasilitasi proses berpikir. Vygotsky menekankan pentingnya peran orang dewasa atau teman sebaya yang lebih matang dan berpengalaman dalam perkembangan mental anak, berbeda dengan Piaget yang lebih menekankan eksplorasi mandiri. Konsep utama yang dikembangkan Vygotsky adalah *Zone of Proximal Development* (ZPD), yaitu jarak antara kemampuan anak saat ini dengan potensi yang dapat dicapai dengan bantuan orang lain. Pengajaran yang baik menurutnya adalah yang mendukung perkembangan anak dengan memberikan tantangan yang sedikit lebih tinggi dari tingkat perkembangan anak. Guru harus mengidentifikasi ZPD setiap anak dan memberikan pengajaran yang sesuai dengan tingkat perkembangannya. Indikator bahwa guru telah menemukan zona yang tepat ketika anak menunjukkan antusiasme, rasa ingin tahu, dan keterlibatan aktif (Charlesworth, 2016).

(c) Teori Pembelajaran Bermakna

Menurut Ausubel (1968), peserta didik belajar dengan optimal ketika guru memahami pengetahuan yang telah dimiliki peserta didik sebelumnya dan mengajarkan materi sesuai dengan tingkat pemahaman peserta didik. Peserta didik juga belajar dengan lebih baik ketika peserta didik terlibat langsung dalam kegiatan pembelajaran, dan sering kali perlu mengulangi aktivitas tersebut beberapa kali untuk benar-benar memahami konsep baru. Selain itu, pembelajaran menjadi lebih efektif ketika peserta didik diberikan kesempatan untuk berlatih

dalam kegiatan yang relevan, bermanfaat, dan bermakna, yang dapat menantang pemahaman peserta didik sebelumnya (Sexton, 2020).

(d) Teori Pembelajaran Penemuan

Ozdem-Yilmaz & Bilican (2020) mengungkapkan bahwa pembelajaran merupakan proses penemuan, sehingga motivasi peserta didik untuk mengeksplorasi dan menumbuhkan rasa ingin tahu menjadi hal yang penting, dengan menyediakan kondisi yang diperlukan guna membangkitkan keinginan peserta didik untuk belajar. Dalam pembelajaran penemuan, guru menyajikan contoh dan struktur kepada peserta didik, yang kemudian bekerja dengan contoh tersebut hingga peserta didik menemukan hubungan dasar, prinsip, dan sifat antaride, sehingga Bruner berpendapat bahwa pembelajaran dalam pembelajaran penemuan terbentuk melalui proses induksi. Pembelajaran penemuan memerlukan waktu untuk diterapkan karena tidak semua peserta didik dapat belajar dengan kecepatan yang sama dalam periode tertentu, namun pembelajaran ini diharapkan lebih permanen karena peserta didik terlibat secara aktif di dalam kelas.

(e) Teori Pembelajaran Penemuan Terbimbing

Ramma et al. (2020) mengunkaokan bahwa teori dari Gagné tentang pembelajaran berbimbing didasarkan pada lima taksonomi pembelajaran, yaitu informasi verbal, keterampilan intelektual, strategi kognitif, keterampilan motorik, dan sikap. Teori ini mencakup sembilan peristiwa instruksional, yakni menarik perhatian, memberitahukan tujuan pembelajaran kepada peserta didik, merangsang pengingatan terhadap pembelajaran sebelumnya, menyajikan stimulus, memberikan panduan pembelajaran, memunculkan performa, memberikan umpan balik, menilai performa, serta meningkatkan retensi dan transfer pembelajaran. Teori dari Gagné efektif diterapkan dalam pembelajaran di kelas, memungkinkan guru memantau perkembangan peserta didik secara berurutan dan logis melalui sembilan peristiwa instruksional. Namun, metode pengajaran tradisional dapat menghambat penerapannya, sehingga refleksi pembelajaran penting untuk meningkatkan praktik guru. Pengetahuan dan pengalaman sebelumnya peserta didik perlu diperhatikan karena berdampak pada

proses pembelajaran. Selain itu, guru harus mengatasi miskonsepsi konsep dengan berdiskusi konstruktif bersama rekan sejawat.

4) Teori Konstruktivistik

Menurut Olusegun (2015), teori belajar konstruktivisme berakar pada pemikiran Dewey (1929), Bruner (1961), Vygotsky (1986), dan Piaget (1980), merupakan paradigma dalam pengajaran dan pembelajaran yang berasal dari psikologi, menjelaskan bahwa manusia secara aktif membangun pengetahuan dan makna melalui pengalaman, serta memiliki aplikasi langsung dalam pendidikan. Konstruktivisme merupakan sintesis dari berbagai teori yang menggabungkan prinsip behaviorisme dan kognitivisme, dengan pandangan bahwa belajar adalah proses membangun makna berdasarkan pengalaman (Merriam et al., 2007). Dalam pembelajaran, teori konstruktivisme mendorong peserta didik untuk belajar secara aktif melalui kegiatan seperti eksperimen dan pemecahan masalah nyata, sambil merefleksikan perubahan pemahaman peserta didik (Oliver, 2000).

Ada dua konsep penting dalam teori konstruktivisme, yaitu (1) asimilasi, menggabungkan pengalaman baru dengan pengetahuan yang sudah dimiliki, dan (2) akomodasi, menyesuaikan cara berpikir untuk memahami pengalaman baru (Driscoll, 2014). Agar pembelajaran konstruktivis efektif, lingkungan belajar harus dirancang untuk mendukung aktivitas belajar yang aktif dan melibatkan peserta didik secara langsung dengan materi yang dipelajari (Tam, 2015). Prinsip-prinsip konstruktivisme menurut Caine & Caine (1994) adalah sebagai berikut:

- Otak memproses banyak informasi sekaligus, seperti pikiran, emosi, dan budaya, sehingga pembelajaran efektif harus menggunakan berbagai strategi.
- Pembelajaran melibatkan fisiologi sehingga guru harus memperhatikan seluruh aspek peserta didik, bukan hanya intelektualnya.
- Pencarian makna bersifat bawaan, di mana setiap peserta didik memahami sesuatu secara unik berdasarkan pengalaman peserta didik.
- Makna ditemukan melalui pola, di mana pembelajaran yang efektif menghubungkan ide dan informasi dengan konsep yang lebih luas.
- Emosi memengaruhi pembelajaran, karena perasaan, emosi, dan sikap dapat memengaruhi cara peserta didik belajar.

- Otak memproses bagian dan keseluruhan secara bersamaan, sehingga pembelajaran kurang efektif jika hanya fokus pada bagian atau keseluruhan saja.
- Belajar melibatkan perhatian terfokus dan persepsi perifer, di mana lingkungan, budaya, dan suasana memengaruhi pembelajaran.
- Proses sadar dan tidak sadar, di mana peserta didik membutuhkan waktu untuk memahami proses belajar selain materi yang dipelajari.
- Dua jenis memori, yaitu memori spasial dan memori hafalan yang berbeda, dan terlalu fokus pada hafalan dapat menghambat pemahaman.
- Pembelajaran berbasis pengalaman lebih efektif, karena fakta dan keterampilan lebih mudah dipahami jika disampaikan melalui pengalaman nyata.
- Tantangan meningkatkan pembelajaran, karena kelas harus memberikan tantangan tanpa membuat peserta didik merasa terancam.
- Setiap otak unik, sehingga pengajaran harus beragam agar sesuai dengan preferensi peserta didik.

Konstruktivisme dapat dilihat dari dua aspek, yaitu hakikat pembelajaran dan konsepsi pengetahuan, yang berlaku baik bagi peserta didik maupun pendidik (Rannikmäe et al., 2020). Menurut Taber (2011), pembelajaran dalam konstruktivisme:

- Merupakan proses aktif yang terus berkembang untuk membangun gagasan atau konsep baru.
- Bersifat interaktif, di mana peserta didik menyesuaikan model mental yang telah dimiliki agar dapat memahami pengalaman fisik, kognitif, emosional, dan sosial dengan cara menafsirkan, merepresentasikan, serta merestrukturisasi pengetahuan sebelumnya.
- Merupakan proses sosial yang melibatkan interaksi dengan guru, teman sebaya, dan anggota komunitas lainnya melalui percakapan dan penerapan pengetahuan.

- Bersifat kontekstual, karena seseorang tidak belajar fakta atau teori secara terpisah dari kehidupan sehari-hari.

Komponen utama dalam konstruktivisme adalah pandangan tentang perolehan pengetahuan yang meliputi:

- Pengetahuan tidak sekadar diterima atau direproduksi, tetapi dikonstruksi oleh individu melalui pengalaman.
- Setiap individu menciptakan makna pribadi dari pengalaman dan mengintegrasikan gagasan baru ke dalam struktur pengetahuan yang telah dimiliki.
- Proses pembentukan pengetahuan dipengaruhi oleh keyakinan dan sikap yang telah ada sebelumnya, yang terus berkembang seiring waktu.

Menurut Rannikmäe et al. (2020), dalam kelas konstruktivis, guru dan peserta didik memandang pengetahuan sebagai sesuatu yang dinamis dan terus berkembang, di mana peserta didik perlu mengembangkan kemampuan untuk memperluas pandangan, bukan sekadar menghafal informasi, dengan beberapa asumsi kunci, yaitu:

- Keyakinan peserta didik, baik yang benar maupun salah, sangat penting.
- Meskipun pengalaman pembelajaran sama, peserta didik membangun pemahaman yang bersifat pribadi.
- Memahami makna adalah proses aktif dan terus-menerus.
- Saat membangun makna baru, peserta didik bisa menerimanya sementara atau menolaknya.
- Pembelajaran adalah proses aktif yang bergantung pada tanggung jawab peserta didik.
- Pembelajaran juga bisa melibatkan perubahan pemahaman.

Menurut Jordan et al. (2009), konstruktivisme menekankan pentingnya peran aktif guru sebagai pemegang pengetahuan ahli dan fasilitator pembelajaran peserta didik, di mana guru berfungsi sebagai pembimbing, pemantau, atau tutor, yang memberikan kesempatan bagi peserta didik untuk membangun pengetahuan sendiri, dengan cara:

- Menggunakan pendekatan yang mengakui pengetahuan awal peserta didik, bukan sekadar mengikuti presentasi buku teks atau konten kurikulum;
- Menjaga fleksibilitas dalam pengembangan penyelidikan peserta didik;
- Menciptakan lingkungan yang memotivasi dan menginspirasi untuk interaksi peserta didik;
- Mengandalkan pertanyaan terbuka, pemecahan masalah langsung oleh peserta didik, dan mendorong pembelajaran berbasis penyelidikan, dengan menciptakan situasi yang memotivasi peserta didik untuk bertanya dan merefleksikan pembelajaran peserta didik;
- Memberikan dukungan untuk perkembangan peserta didik (dalam kelompok atau dengan bantuan guru) sehingga peserta didik terdorong untuk melampaui batas kemampuan peserta didik saat bekerja sendiri;
- Memicu dialog dan kolaborasi yang luas untuk memperkenalkan peserta didik pada pandangan alternatif dan berbagai perspektif dari teman sekelas, mendukung kolaborasi dalam membangun pengetahuan, bukan kompetisi;
- Mengembangkan rasa ingin tahu alami peserta didik dan berupaya meningkatkan motivasi, otonomi, dan regulasi diri peserta didik;
- Menggunakan penilaian formatif dan terintegrasi.

(a) Teori Pragmatisme

Menurut Dewey (1929), terdapat tiga cara atau tindakan untuk memperoleh pengetahuan, yaitu melalui pengalaman atau tindakan (terutama secara fisik), pemikiran, dan komunikasi. Pengalaman merujuk pada hasil yang terkumpul dalam ingatan dari berbagai tindakan dan kejadian di masa lalu yang dialami tanpa adanya kendali melalui wawasan, di mana akumulasi tersebut terbukti bermanfaat dalam menghadapi situasi saat ini. Pengalaman, sebagai tindakan yang memungkinkan diperolehnya pengetahuan, tidak terjadi dalam isolasi melainkan bersifat sosial karena melibatkan interaksi dan komunikasi. Dewey (1938) menetapkan dua prinsip dalam menafsirkan pengalaman, yaitu kontinuitas dan interaksi, yang saling berhubungan dan tidak dapat dipisahkan. Kontinuitas berarti setiap pengalaman mengambil sesuatu dari pengalaman sebelumnya dan memengaruhi pengalaman selanjutnya, sedangkan interaksi melibatkan hubungan

antara kondisi internal individu dan kondisi eksternal yang membentuk pengalaman dalam berbagai situasi kehidupan.

Dewey (1933) menggambarkan berpikir sebagai rangkaian keadaan mental dalam pikiran dan menjelaskan bahwa proses berpikir dapat diinterpretasikan melalui empat makna atau pengertian, yaitu:

- Berpikir dalam arti luas, yaitu aliran ide yang tidak terkendali dalam pikiran kita, baik saat sadar maupun dalam mimpi.
- Berpikir sebagai imajinasi, yang terbatas pada hal-hal yang tidak dapat kita tangkap langsung melalui indera, seperti cerita spontan yang sering diungkapkan anak-anak dengan tujuan menyusun alur yang menarik, bukan untuk mencari kebenaran atau fakta.
- Berpikir sebagai keyakinan yang diterima begitu saja, tanpa pertimbangan yang matang terhadap bukti, di mana individu sering kali tidak menyadari asal-usul dari keyakinan tersebut.
- Berpikir reflektif, yang dianggap sebagai bentuk berpikir tertinggi oleh Dewey, yaitu proses berpikir yang disengaja untuk mencapai kesimpulan berdasarkan pertimbangan yang matang.

Menurut Dewey (1929), komunikasi bersifat instrumental dan penyempurna, di mana komunikasi merupakan pertukaran yang memungkinkan individu memenuhi kebutuhan dengan melibatkan bantuan orang lain secara lebih efisien dibandingkan usaha pribadi. Dalam komunikasi, semua peristiwa alami dapat ditinjau ulang dan disesuaikan sesuai kebutuhan percakapan, baik dalam bentuk diskusi publik maupun dialog internal. Komunikasi juga mencerminkan pengalaman dan pemikiran, di mana ide dari orang lain dapat ditambah atau dimodifikasi untuk mencapai tujuan bersama, yaitu kemajuan pengetahuan. Melalui komunikasi, pandangan, pendekatan, dan kebiasaan individu mengalami perubahan yang menghasilkan respons terpadu, sekaligus mentransformasi dunia individu secara keseluruhan (Biesta & Burbules, 2003).

Morgan (2014) menggambarkan pendekatan penyelidikan menurut Dewey sebagai proses yang melibatkan lima langkah, yaitu: (1) mengidentifikasi suatu situasi sebagai permasalahan, (2) mempertimbangkan perbedaan yang muncul

akibat mendefinisikan masalah dengan cara yang berbeda, (3) merancang langkah-langkah tindakan yang dapat diambil sebagai respons terhadap masalah, (4) mengevaluasi berbagai tindakan berdasarkan konsekuensi yang mungkin terjadi, dan (5) melaksanakan tindakan yang dianggap paling efektif untuk mengatasi situasi yang bermasalah.

(b) Teori Konstruktivisme Sosial

Menurut konstruktivisme sosial, perkembangan kognitif terjadi melalui interaksi sosial dengan orang lain, bukan hanya proses individu yang terjadi secara sendiri (Atwater, 1996). Pembelajaran dipandang sebagai proses sosial, budaya, dan motivasional yang terjadi melalui komunikasi dan interaksi dengan orang-orang yang memiliki makna bagi peserta didik (Lemke, 2001). Selain itu, pembelajaran sangat bergantung pada hubungan yang bermakna, baik dengan teman sebaya maupun dengan orang yang lebih berpengalaman, seperti guru atau instruktur (Palmer, 2005).

Menurut Barak (2017), konstruktivisme sosial mencakup berbagai teori, seperti teori sosiokultural Vygotsky (1978), teori konflik sosiokognitif Piaget (1985), dan teori kognitif sosial Bandura (1986). Teori sosiokultural Vygotsky (1978) menjelaskan bahwa fungsi mental tingkat tinggi berasal dari interaksi sosial, pembelajaran terjadi melalui alat perantara seperti bahasa, dan peserta didik dapat berkembang dalam Zona Perkembangan Proksimal (*Zone of Proximal Development*, ZPD) melalui mediasi dengan orang lain (Wertsch, 1993). Teori konflik sosiokognitif Piaget (1985) menyatakan bahwa konflik kognitif yang muncul melalui interaksi sosial mendorong perkembangan pengetahuan dengan membuat peserta didik menyadari kelemahan konsep peserta didik, mempertanyakan ide, serta mengadopsi pemahaman baru melalui ketidakseimbangan kognitif (Palincsar, 1998).

Teori kognitif sosial Bandura (1986) menekankan bahwa perkembangan kognitif peserta didik dipengaruhi oleh faktor perilaku dan lingkungan, di mana pembelajaran terjadi melalui observasi model serta kemampuan peserta didik untuk mengendalikan dan mengubah lingkungan serta perilaku peserta didik sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan melalui tahapan perhatian, retensi,

produksi, dan motivasi (Bandura, 1999). Konstruktivis sosial meyakini bahwa dinamika interpersonal dan diskusi bawah sadar dapat meningkatkan perubahan kognitif, di mana pembelajaran yang bermakna terjadi melalui kolaborasi, berbagi pengetahuan dalam kelompok, serta diskusi ilmiah yang mendorong literasi sains dan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Taylor & Cox, 2009). Guru sains dengan perspektif konstruktivisme sosial berperan sebagai fasilitator yang mendukung interaksi peserta didik, *scaffolding*, dan diskusi internal untuk mendorong pembelajaran mendalam dan perubahan konseptual, bukan sekadar sebagai penyampai informasi (Bell et al., 2013).

Pedagogi konstruktivisme sosial memiliki prinsip-prinsip yang dapat diterapkan dalam lingkungan belajar sebagai panduan praktik pembelajaran, bukan sebagai daftar yang harus dipenuhi satu per satu (Tam, 2000; Wheatley, 1991). Menurut Adams (2006) beberapa prinsip utama dalam pedagogi konstruktivisme sosial meliputi:

- (a) Berfokus pada proses belajar, bukan sekadar hasil.
- (b) Memandang peserta didik sebagai rekan aktif dalam membangun makna dan pengetahuan.
- (c) Membangun hubungan guru dan peserta didik yang berbasis bimbingan, bukan instruksi.
- (d) Melibatkan peserta didik dalam tugas yang memiliki makna intrinsik.
- (e) Menjadikan penilaian sebagai proses aktif untuk mengungkap dan memahami konsep secara bersama.

Bruner (1997) mengemukakan empat pandangan mengenai pendidikan yang relevan dengan dunia ilmiah dan teknologi saat ini:

- Peserta didik belajar dengan meniru, fokus pada aktivitas sehari-hari, di mana pengetahuan dan keterampilan peserta didik berkembang;
- Peserta didik belajar melalui pendekatan didaktik, di mana konsep, fakta, dan teori disajikan terlebih dahulu sebagai bagian dari pembelajaran wajib, kemudian diterapkan;
- Peserta didik adalah pemikir yang mencoba memahami dunia peserta didik, dengan diskusi dan kolaborasi sebagai bagian pentingnya;

- Peserta didik adalah individu yang berpengetahuan, dan dalam pengajaran, penting untuk membantu peserta didik membedakan antara pengetahuan pribadi dan pengetahuan yang diterima oleh budaya.

Bruner (1960) mengidentifikasi tiga tahap pembelajaran dalam memahami dunia, yang didukung oleh konstruktivisme sosial, yaitu (1) representasi enaktif, belajar melalui tindakan langsung atau *learning by doing*, (2) representasi ikonik, memahami sesuatu melalui gambar konkret, dan (3) representasi simbolik, berpikir secara abstrak tentang suatu hal. Scott et al. (2007) menambahkan tahap keempat, yaitu belajar sains, memahami bahasa sosial komunitas ilmiah.

Rannikmäe et al. (2020) menyimpulkan konstruktivisme sosial dalam pembelajaran dapat dilihat dari empat aspek utama, yaitu:

- Hakikat pengetahuan, pengetahuan adalah hasil dari interaksi sosial dan budaya yang dibangun secara aktif, bukan sekadar informasi dari buku. Pengetahuan muncul dari kontradiksi mental yang terjadi melalui interaksi dengan orang lain dan lingkungan.
- Hakikat pembelajaran, pembelajaran berbasis pada pengalaman nyata dan pemecahan masalah melalui interaksi sosial. Proses belajar terjadi saat gagasan baru dibandingkan dengan pengetahuan yang sudah ada, dengan penyesuaian aturan untuk memahami dunia.
- Hakikat realitas, realitas dibentuk melalui aktivitas manusia dan hasil kesepakatan sosial, bukan sesuatu yang ditemukan secara objektif. Setiap individu memiliki pemahaman yang berbeda karena pengalaman interaksi yang unik.
- Hakikat motivasi, motivasi peserta didik berasal dari faktor intrinsik, seperti rasa ingin tahu, dan faktor ekstrinsik, seperti penghargaan yang diperoleh dari interaksi sosial.

5) Teori Berbasis Intelektual dan Keterampilan

(a) Teori Kecerdasan Majemuk

Teori kecerdasan majemuk yang dikemukakan oleh Howard Gardner pada tahun 1983 menyatakan bahwa pandangan tradisional tentang kecerdasan yang hanya berdasarkan tes IQ sangat terbatas (Edutopia, 2016). Gardner mengusulkan

adanya berbagai jenis kecerdasan dalam diri manusia, seperti kecerdasan verbal-linguistik, logika-matematika, visual-spasial, kinestetik, musikal, interpersonal, intrapersonal, naturalis, dan eksistensial. Oleh karena itu, dalam pengajaran sains, guru dapat menggunakan berbagai pendekatan alternatif selain metode linguistik atau logis untuk membantu peserta didik memahami materi dengan lebih efektif (Akpan & Kennedy, 2020).

(b) *System Thinking*

Menurut Akpan & Kennedy (2020) *system thinking* adalah teori yang memahami suatu sistem dengan menelaah keterkaitan dan interaksi antar bagian yang membentuk keseluruhan sistem. Pendekatan ini melihat sistem secara utuh, di mana perubahan pada satu bagian dapat memengaruhi bagian lain serta kestabilan dan keberlanjutan sistem secara keseluruhan. Dalam pembelajaran sains, penerapan pemikiran sistem membantu peserta didik memahami gambaran besar, mengidentifikasi pola dan hubungan sebab-akibat, serta menguji asumsi ilmiah untuk mengantisipasi konsekuensi yang tidak diinginkan.

b. Teori Berpikir

Menurut Dewey (1910) dalam bukunya *How We Think*, berpikir adalah proses mental yang melibatkan refleksi aktif dan bertujuan untuk mencapai pemahaman atau menyelesaikan masalah. Dewey menjelaskan bahwa berpikir merupakan aktivitas rasional yang tidak terjadi secara spontan, tetapi membutuhkan keterlibatan pikiran untuk mengevaluasi informasi, menghubungkan pengalaman, serta menyusun langkah logis menuju solusi. Dewey juga menekankan bahwa kemampuan berpikir dapat dilatih melalui pembelajaran terarah yang memanfaatkan sumber daya alami, seperti rasa ingin tahu, pengamatan, dan eksplorasi. Analisis Dewey tentang pemikiran induktif dan deduktif sebagai gerakan ganda refleksi menunjukkan pentingnya penalaran logis, meskipun konseptualisasinya yang abstrak membatasi pembahasannya pada aspek umum tanpa kajian empiris dan sistematis (Li et al., 2019).

Menurut Holyoak & Morrison (2005) berpikir adalah proses sistematis dalam mengubah representasi mental dari pengetahuan untuk memahami keadaan dunia yang nyata maupun yang mungkin terjadi, biasanya dengan tujuan tertentu.

Representasi mental merupakan gambaran internal dari pengetahuan yang dapat dimanipulasi untuk menghasilkan pemahaman baru. Agar dapat disebut sebagai proses berpikir, perubahan yang terjadi harus mengikuti aturan atau pola tertentu, bukan sekadar asosiasi yang acak. Proses berpikir dapat berupa penalaran logis maupun lompatan kreatif. Hasil dari berpikir berupa representasi internal yang menggambarkan dunia luar, baik dunia nyata maupun dunia imajinasi. Umumnya, berpikir dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu, namun terkadang dapat terjadi tanpa tujuan yang jelas, seperti dalam mimpi atau lamunan.

Melser (2004) mengungkapkan bahwa pandangan umum maupun ilmiah cenderung menganggap berpikir sebagai proses internal yang terjadi di dalam kepala seseorang, bukan sebagai tindakan aktif yang dilakukan secara sadar. Dalam pandangan umum, berpikir dipandang sebagai proses mental, sedangkan dalam pandangan ilmiah, berpikir dianggap sebagai proses neurofisiologis. Keduanya memiliki kesamaan, yaitu menganggap berpikir sebagai proses yang berlangsung secara otomatis, seperti pencernaan atau sirkulasi darah, yang dilakukan oleh mekanisme khusus dalam tubuh. Perbedaannya hanya terletak pada pandangan tentang mekanisme yang menjalankannya, apakah itu pikiran nonfisik atau otak fisik. Namun, berpikir sebenarnya dapat dilihat sebagai sebuah tindakan nyata yang dipelajari dan dilakukan secara sadar oleh individu. Indikasi bahwa berpikir adalah sebuah tindakan antara lain: (1) Berpikir biasanya disadari (*self-aware*) dan (2) Berpikir sering kali dapat diamati oleh orang lain.

2.1.2 Pola Pikir *Design Thinking*

a. Pengertian Pola Pikir *Design Thinking*

Design thinking didefinisikan sebagai proses analitis dan kreatif yang melibatkan seseorang untuk mengeksplorasi, menciptakan dan membuat prototipe, mengumpulkan umpan balik, serta merancang ulang (Razzouk & Shute, 2012). *Design thinking* juga didefinisikan sebagai mode berpikir dalam pendidikan di sekolah yang bertujuan untuk mendukung pengembangan dan pembinaan keterampilan peserta didik di abad ke-21 (Li et al., 2019). Selain itu, *design thinking* mengacu pada kemampuan untuk menggabungkan empati, kreativitas, dan rasionalitas dalam merancang solusi bagi masalah orang lain, dengan

pendekatan kolaboratif dan iteratif yang membuatnya efektif dalam mendukung pembelajaran STEM secara bermakna melalui kegiatan berbasis desain (Wrigley & Straker, 2017; Dym et al., 2006; Long, 2012; Cook & Bush, 2018).

Aspek-aspek dalam *design thinking* diidentifikasi dengan berbagai istilah, seperti *traits* (Blizzard et al., 2015), *attributes* (Schweitzer et al., 2016), dan *mindset*, yaitu kumpulan sikap, pendapat, keyakinan, dan perilaku yang mencirikan individu, kelompok, atau organisasi, yang sebagian besar terbentuk melalui pengalaman (Dosi et al., 2018). Istilah *mindset* (pola pikir) juga merujuk pada sekumpulan pandangan, keyakinan, dan perilaku yang mencirikan individu saat ia terlibat dalam aktivitas berbasis desain (Ladachart, Cholsin, et al., 2022; Paparo et al., 2017). *Design thinking* sebagai sebuah pola pikir merujuk pada sikap, kepekaan, atau pandangan yang menjadi dasar pendekatan profesional dalam menerapkan konsep *design thinking* (Karla & Carla, 2023). Sebagai pola pikir, *design thinking* dicirikan oleh beberapa prinsip utama, yaitu perpaduan antara berpikir divergen dan konvergen, orientasi yang kuat terhadap kebutuhan pelanggan dan pengguna, serta penggunaan prototipe (Brenner & Uebernickel, 2016).

b. Manfaat Pola Pikir *Design Thinking*

Menurut Noh & Karim (2021), pola pikir *design thinking* dapat membantu meningkatkan keberhasilan peserta didik dengan mendorong kreativitas dan inovasi, serta memperkuat keterampilan utama yang dibutuhkan dalam menghadapi Revolusi Industri 4.0. Hal ini dapat dilihat dari filosofi pengajarannya yang fokusnya adalah melatih kreativitas dengan pendekatan yang berpusat pada manusia, budaya prototipe, eksperimentasi, dan sikap optimis. Menurut Carroll et al. (2010), pengintegrasian *design thinking* ke dalam kurikulum meningkatkan keterlibatan, kolaborasi, dan keterampilan pemecahan masalah peserta didik. Lebih lanjut diungkapkan bahwa *design thinking* di sekolah menengah memiliki peran sebagai berikut:

- 1) Membantu peserta didik mengadopsi desain dengan cara yang berbeda.
- 2) Membantu peserta didik melaksanakan proyek yang mencerminkan pemahaman terhadap prinsip-prinsip *design thinking*.

- 3) Menjadi alat yang mendorong metakognisi pada peserta didik.
- 4) Meningkatkan respons positif peserta didik saat terlibat dalam aktivitas *design thinking*.
- 5) Meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran kolaboratif selama kegiatan *design thinking*.
- 6) Mendorong peserta didik untuk terlibat dalam aktivitas pembelajaran yang bersifat aktif.
- 7) Proyek *design thinking* meningkatkan keterlibatan peserta didik dengan memberikan kesempatan untuk menyampaikan pendapat.
- 8) Proses *prototyping* merupakan alat yang efektif di kelas untuk meningkatkan keterlibatan tanpa berfokus pada kesempurnaan.
- 9) Menciptakan proyek desain di kelas yang mengintegrasikan standar akademik, pembelajaran konten, dan *design thinking*.

Panke (2019) mengungkapkan bahwa *design thinking* memberikan beragam manfaat dalam pendidikan karena proses dan pola pikirnya yang mendukung berbagai tujuan pembelajaran, dengan beberapa manfaat utama yang diidentifikasi berdasarkan kajian literatur, sebagai berikut:

- 1) Mendorong pengalaman tidak kasat mata

Design thinking mendorong peserta didik untuk berpikir kreatif melalui penggunaan anggota tubuh dalam membangun analogi fisik dan representasi nyata. Hal ini memfasilitasi diskusi, pengembangan kosakata bersama, dan menciptakan pengalaman belajar yang bermakna (Claus, 2016; Camacho, 2018). Proses ini juga memanfaatkan pengetahuan yang berbasis pengalaman fisik untuk mendukung perkembangan intrapersonal di lingkungan pendidikan (Groth, 2017).

- 2) Meningkatkan empati

Pendekatan yang berpusat pada manusia dalam *design thinking* membantu peserta didik memahami sudut pandang orang lain, khususnya dalam situasi sosial yang kompleks. Empati mendorong keterbukaan, sikap tidak menghakimi, dan kenyamanan dalam bekerja dengan individu dari berbagai latar belakang (Carlgren et al., 2016).

3) Mengurangi bias kognitif

Liedtka (2015) menjelaskan bahwa *design thinking* dapat mengurangi bias kognitif dan meningkatkan hasil inovasi. Bias kognitif seperti *projection bias*, *hot/cold gap*, *egocentric empathy gap*, dan *focusing illusion* membuat pembuat keputusan terjebak dalam pandangan dunianya sendiri. Sebagai solusinya, Liedtka merekomendasikan pengembangan kemampuan membayangkan pengalaman orang lain meskipun tanpa data langsung.

4) Mendukung pembelajaran berbasis permainan

Dengan menggunakan *design thinking*, lingkungan belajar menjadi tempat yang seru untuk mencoba hal baru dan belajar dari kegagalan. Peserta didik dapat mengembangkan kreativitas, ikut serta dalam semua kegiatan, dan merasakan pengalaman belajar yang menyenangkan (Watson, 2015; Ferguson et al., 2019).

5) Menciptakan aliran dan antusiasme

Primus & Sonnenburg (2018) melakukan penelitian empiris untuk mengkaji pengalaman aliran (*flow*) pada tingkat individu dan kelompok dalam kegiatan *design thinking* selama satu hari. Hasilnya menunjukkan bahwa elemen pengalaman aliran individu dan kelompok saling terkait erat, dan sifat tugas *design thinking* memengaruhi intensitas aliran tersebut. Menurut von Thienen et al. (2016), *design thinking* juga meningkatkan motivasi peserta didik untuk menghadapi tugas sulit, tetap fokus, dan merasakan semangat saat bekerja. Peserta didik menunjukkan antusiasme terhadap proyek, bekerja dengan cepat, keluar dari zona nyaman, menerima kegagalan yang produktif, mempercayai proses, serta berbagi rasa takjub.

6) Meningkatkan kolaborasi multidisipliner

Kolaborasi antar disiplin merupakan hal penting dalam pendekatan *design thinking* untuk inovasi (Sonalkar et al., 2016). Pendekatan ini bertujuan menggabungkan berbagai keahlian untuk menganalisis, mensintesis, dan menghasilkan ide-ide baru (Melles et al., 2012). Tim yang fungsional sangat diperlukan untuk keberhasilan *design thinking*, yang juga menekankan pentingnya pengelolaan komunikasi dan emosi antar anggota tim (Camacho, 2018). Hal ini memungkinkan tim yang beragam untuk bekerja secara produktif dan

menghilangkan batasan antara desain, akademik, dan museum (MacLeod et al., 2015).

7) Meningkatkan daya lenting

Design thinking mendorong peserta didik untuk melihat keterbatasan sebagai peluang, yang dapat meningkatkan ketahanan dalam menghadapi kegagalan dan ketidakpastian (Micheli et al., 2019). Proses ini memungkinkan banyak percobaan dan kesalahan, di mana kegagalan dianggap sebagai sumber daya yang sangat berharga. Kegagalan jika diterima dan dianalisis dengan pikiran terbuka, diharapkan dapat membantu pembelajaran dan menghasilkan pencapaian kreatif yang lebih besar (Von Thienen et al., 2017). Peserta didik didorong untuk menerima kegagalan, belajar darinya, dan mengubah pendekatan berdasarkan hasil yang diperoleh, yang mengarah pada keterampilan dalam menghadapi ketidakpastian (Badwan et al., 2018).

8) Menghasilkan solusi yang mengejutkan dan menyenangkan

Penggunaan *design thinking* dapat menghasilkan solusi yang mengejutkan dan menyenangkan, yang memicu respons emosional dari para pemangku kepentingan (Elsbach & Stigliani, 2018). Goldman et al. (2014) menyebut ini sebagai penyelesaian konflik antara masalah yang rumit dan solusi yang elegan, saat anggota tim bernegosiasi tentang apa yang diketahui dan tidak diketahui, serta apa yang benar-benar dibutuhkan oleh pengguna.

9) Menumbuhkan kepercayaan diri dalam berkreasi

Design thinking membangun kepercayaan diri kreatif dengan memberi kesempatan kepada non-desainer untuk berpikir dan bertindak seperti desainer, serta melihat diri sebagai bagian dari penciptaan masa depan yang lebih baik. Proses ini mendorong peserta didik untuk mengatasi tantangan sulit dengan percaya diri. Hal ini juga membantu mengembangkan kemampuan berimajinasi tanpa batasan, yang penting dalam pembelajaran dan penguasaan kreativitas melalui pemecahan masalah, ruang kerja kreatif, dan kolaborasi tim dengan berbagai perspektif (Munyai, 2016; Carroll et al., 2010; Von Thienen et al., 2017).

Design thinking berfokus pada mengubah, menyesuaikan, atau meningkatkan pola pikir peserta didik, bahkan guru, untuk membangun pola pikir yang

kompleks dalam proses pembelajaran di kelas (Thi-Huyen et al., 2021; Vallis et al., 2024). Banyak penelitian menjelaskan bahwa pola pikir *design thinking* bermanfaat bagi peserta didik untuk mengembangkan kepercayaan diri dalam berkreaitivitas dan menghadapi tantangan dalam membangun kreativitas melalui pengembangan empati, dorongan untuk bertindak, pemunculan ide, peningkatan kesadaran metakognitif, serta pengasahan kemampuan pemecahan masalah secara kreatif (Henriksen et al., 2017). Pola pikir *design thinking* perlu dimasukkan ke dalam kurikulum sebagai upaya untuk mengintegrasikan kemampuan pembelajaran abad ke-21 (Vallis et al., 2024).

c. Karakteristik Pola Pikir *Design Thinking*

Ladachart et al., (2019) mengungkapkan bahwa *design thinking* bersifat kompleks, sehingga berbagai upaya dilakukan untuk mengenali karakteristik individu yang menunjukkan kemampuan tersebut. Lebih lanjut dikatakan bahwa karakteristik ini sering kali diberi istilah seperti sifat, atribut, atau pola pikir, namun istilah pola pikir dinilai paling relevan, karena menggambarkan serangkaian opini, keyakinan, dan perilaku yang mencirikan seseorang ketika berpartisipasi dalam aktivitas desain. Karakteristik pola pikir *design thinking* menurut Dosi et al. (2018) terdiri atas 19 aspek, yaitu: (1) *tolerance for ambiguity*, (2) *embracing risks*, (3) *human-centeredness*, (4) *empathy*, (5) *mindfulness of process*, (6) *holistic view*, (7) *problem framing*, (8) *team working*, (9) *multi-disciplinary collaboration*, (10) *being open to different perspectives*, (11) *orientation to learning*, (12) *experimentation*, (13) *bias toward action*, (14) *critical questioning*, (15) *abductive thinking*, (16) *envisioning new things*, (17) *creative confidence*, (18) *desire to make a difference*, dan (19) *optimism to have an impact*. Deskripsi 19 aspek karakteristik pola pikir *design thinking* menurut Dosi et al. (2018) ditampilkan dalam Lampiran 5.

Greoger et al. (2019) mengidentifikasi tiga definisi yang terperinci mengenai atribut pola pikir *design thinking* berdasarkan refleksi peserta didik. Pertama, empati terhadap kebutuhan dan konteks orang lain (*empathetic towards people's needs and context*) yang mengacu pada sejauh mana seseorang dapat memahami kebutuhan dan konteks individu lain dari perspektif peserta didik, termasuk

kemampuan untuk menempatkan pikiran dan perasaan dalam sudut pandang orang lain. Kedua, orientasi kolaboratif dan penerimaan terhadap keragaman (*collaboratively geared and embracing diversity*), yaitu sejauh mana seseorang berkomitmen untuk bekerja bersama menuju solusi bersama dan efektif dalam mendukung tujuan tim, dengan keyakinan bahwa hasil akhir bukan tanggung jawab satu individu saja. Ketiga, sikap ingin tahu dan keterbukaan terhadap perspektif baru serta pembelajaran (*inquisitive and open to new perspectives and learning*), yang menggambarkan sejauh mana seseorang menunjukkan rasa ingin tahu dan keinginan untuk mempelajari hal-hal baru.

Menurut Ladachart, Cholsin, et al. (2022), mengingat banyaknya pola pikir yang terkait dengan *design thinking*, tidaklah masuk akal maupun praktis untuk mengharapkan peserta didik dapat mengembangkan semua pola pikir tersebut secara bersamaan. Namun, karena aspek-aspek dalam pola pikir *design thinking* tidak sepenuhnya terpisah, beberapa di antaranya dapat digabungkan. Melalui analisis faktor eksploratori dan analisis faktor konfirmatori yang dilakukan secara berurutan, teridentifikasi sejumlah karakteristik utama pola pikir *design thinking* untuk peserta didik, yaitu: yaitu (1) kenyamanan menghadapi risiko dan ketidakpastian, (2) berorientasi pada manusia, (3) kesadaran akan proses dan dampaknya pada orang lain, (4) kemampuan kolaborasi dalam keberagaman, (5) orientasi pembelajaran dengan membuat dan menguji, dan (6) kepercayaan diri dan optimisme menggunakan kreativitas.

Schumacher & Mayer, (2018) mengungkapkan bahwa *design thinking* memiliki lima prinsip inti, yaitu: fokus pada pengguna, perumusan masalah, visualisasi, eksperimen, dan keberagaman. Fokus pada pengguna menekankan pemahaman dan empati terhadap kebutuhan pengguna yang eksplisit dan tersembunyi, serta keterlibatan sejak identifikasi masalah hingga pengujian solusi awal. Pembingkai masalah membutuhkan kenyamanan dalam menghadapi kompleksitas, ambiguitas, dan kejadian tak terduga. Eksperimen, sebagai aspek iteratif *design thinking*, mendorong pembuatan prototipe secara cepat dengan siklus umpan balik yang singkat. Visualisasi membantu memahami situasi dengan mengungkapkan pengetahuan secara konkret. Keberagaman melibatkan

pembentukan tim beragam untuk mendorong keterbukaan terhadap perspektif yang berbeda dan kolaborasi yang mendalam.

Prinsip-prinsip *design thinking* beririsan dengan teori pembelajaran konstruktivis, di mana peserta didik didorong untuk terlibat aktif dalam proses belajar peserta didik (Pande & Bharathi, 2020). Dalam pembelajaran konstruktivis, peserta didik membangun pemahaman dengan menghubungkan pengetahuan awal dengan pengetahuan baru serta proses yang terlibat dalam belajar, sehingga membentuk koneksi bermakna yang mengakar pada pengalaman langsung (Bada & Olusegun, 2015). Pande & Bharathi, (2020) telah menyusun taksonomi yang menghubungkan prinsip-prinsip *design thinking* dengan prinsip-prinsip konstruktivis. Misalnya, prinsip fokus pada pengguna dalam *design thinking* berkaitan dengan interaksi sosial, pemanfaatan pengetahuan yang sudah ada, dan tugas yang autentik. Sementara itu, perumusan masalah dalam *design thinking* sejalan dengan penciptaan pengetahuan baru, perspektif yang menyeluruh, dan pengalaman bersama.

d. Cara Mengukur Pola Pikir *Design Thinking*

Kuesioner berskala Likert dipilih sebagai instrumen yang dianggap sesuai untuk mengukur pola pikir *design thinking* peserta didik secara praktis namun tetap andal (Blizzard et al., 2015; Dosi et al., 2018; Schweitzer et al., 2016). Ladachart, Khamlarsai, et al. (2022) menggunakan kuesioner sebelum dan sesudah aktivitas berbasis desain untuk mengukur pola pikir *design thinking* pada peserta didik dari latar belakang kurang beruntung. Hasil penelitian menemukan perbaikan dalam kenyamanan peserta didik dalam menyelesaikan masalah teknik, meskipun aspek lain seperti empati dan kreativitas tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Dosi et al. (2018) telah mengembangkan dan memvalidasi kuesioner untuk mengukur pola pikir *design thinking*, yang terdiri dari 22 konstruk dengan 71 butir pernyataan menggunakan skala *Likert* 5 poin. Selain itu, Nguyen-Thi (2024) mengukur pola pikir *design thinking* menggunakan kuesioner yang dirancang untuk mengukur berbagai dimensi dalam *design thinking*, seperti berpusat pada manusia, empati, kesadaran terhadap proses, pandangan holistik,

reframing masalah, kerja tim, kolaborasi lintas/multi/interdisipliner, serta keterbukaan terhadap perspektif dan keberagaman.

Ladachart, Cholsin, et al. (2022) telah melakukan pengukuran pola pikir *design thinking* peserta didik dalam penelitian menggunakan metode kuasi-eksperimen dengan desain *pre-test–post-test*. Pengukuran pola pikir *design thinking* menggunakan kuesioner berskala *Likert*, sejumlah 30 butir pernyataan yang mengukur enam aspek utama *design thinking*, yaitu: kenyamanan menghadapi risiko dan ketidakpastian (6 butir), berorientasi pada manusia (4 butir), kesadaran akan proses dan dampaknya pada orang lain (3 butir), kemampuan kolaborasi dalam keberagaman (5 butir), orientasi pembelajaran dengan membuat dan menguji (4 butir), dan kepercayaan diri dan optimisme menggunakan kreativitas (8 butir).

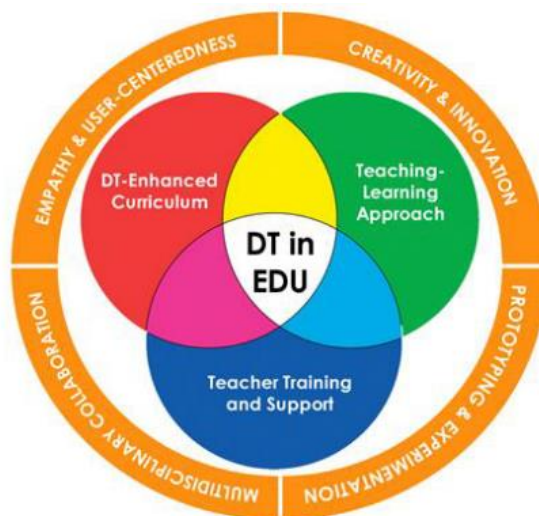
Analisis data penelitian Ladachart, Cholsin, et al. (2022) dilakukan menggunakan statistik deskriptif untuk menghitung rata-rata dan simpangan baku dari setiap aspek *design thinking* pada pengukuran awal (*pre-test*) dan akhir (*post-test*) untuk melihat kecenderungan umum data. Selanjutnya, analisis statistik inferensial dilakukan untuk menguji perbedaan signifikan antara rata-rata kedua pengukuran. Uji normalitas dilakukan menggunakan *Shapiro–Wilk* karena jumlah sampel kurang dari 50 peserta didik. Data dengan distribusi normal dianalisis menggunakan uji-t berpasangan, sementara data yang tidak berdistribusi normal dianalisis menggunakan uji *Wilcoxon signed-rank*. Untuk peningkatan yang signifikan dalam persepsi peserta didik, nilai efek ukuran dihitung menggunakan *d-value* untuk uji-t atau *r-value* untuk uji *Wilcoxon*. Selain itu, uji *Wilcoxon signed-rank* juga digunakan untuk membandingkan rata-rata skor pada setiap butir pernyataan guna mengidentifikasi butir yang memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan persepsi peserta didik.

e. Cara Meningkatkan Pola Pikir *Design Thinking*

Lor (2017) mengungkapkan bahwa *design thinking* telah berhasil diintegrasikan dalam pendidikan, seperti institusi Rotman dan Stanford yang mempelopori penggunaannya dalam kurikulum sekolah dasar dan menengah. Lebih lanjut dikatakan bahwa *design thinking* sejalan dengan teori konstruktivisme

sosial dari Vygotsky, yang menekankan *scaffolding*, eksplorasi, dan pemikiran kreatif. Selain itu, penerapan *design thinking* di sekolah umumnya fokus pada disiplin STEM, namun juga diterapkan dalam mata pelajaran multidisipliner (Panke, 2019).

Penerapan *design thinking* dalam pendidikan dapat dibagi menjadi tiga dimensi, yaitu (1) *design thinking* dalam perancangan kurikulum, (2) *design thinking* sebagai pendekatan pembelajaran, dan (3) pelatihan serta dukungan untuk guru dalam menerapkan *design thinking* (Lor (2017)). Lebih lanjut diungkapkan bahwa hasil analisis lebih mendalam mengenai penerapan kerangka kerja *design thinking* terdapat empat tema umum, yaitu (1) *empathy-building and user-centeredness*, (2) *creativity and innovation*, (3) *rapid-prototyping and experimentation mindset*, serta (4) *open-minded multidisciplinary collaboration cutting across various disciplines*. Kerangka kerja penerapan *design thinking* dalam pendidikan ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Kerangka Kerja Penerapan *Design Thinking* dalam Pendidikan

Sumber: Lor (2017)

2.1.3 Keterampilan Proses Sains

a. Pengertian Keterampilan Proses Sains

Sains didefinisikan sebagai pemahaman terhadap pengetahuan yang telah ada serta proses yang berkelanjutan untuk menghasilkan pengetahuan baru (Johnson & Lawson, 1998). Özgelen (2012) menyatakan bahwa sains terdiri dari dua

komponen utama, yaitu: (1) pengetahuan ilmiah, yang mencakup fakta, hukum, hipotesis, dan teori, serta (2) proses perolehan pengetahuan ilmiah, yang meliputi dua dimensi, yaitu ranah afektif dan ranah kognitif. Lebih lanjut diungkapkan bahwa keterampilan proses sains dikategorikan dalam ranah kognitif, sebagai keterampilan berpikir yang digunakan oleh ilmuwan untuk membangun pengetahuan, memecahkan masalah, dan merumuskan hasil.

Keterampilan proses sains didefinisikan sebagai serangkaian keterampilan yang dapat ditransfer, diterapkan secara luas di berbagai bidang ilmu sains, dan mencerminkan perilaku ilmuwan (Padilla, 1990). Özgelen (2012) mendefinisikan keterampilan proses sains sebagai kegiatan mental dan fisik untuk mengumpulkan dan menyusun informasi, yang kemudian dimanfaatkan untuk membuat prediksi, memberikan penjelasan, menyelesaikan masalah, memahami proses ilmiah, dan mempelajari sains. Keterampilan proses sains pada dasarnya merupakan kemampuan kognitif yang digunakan untuk mengolah informasi, memahami dan memecahkan masalah, serta menyusun kesimpulan (Temiz, 2020).

b. Manfaat Keterampilan Proses Sains

Keterampilan proses sains merupakan aspek kunci dalam pembelajaran sains yang memungkinkan peserta didik memahami metode ilmiah dan menerapkan pengetahuan dalam konteks nyata (Veal et al., 2009). Martin (2009) menambahkan bahwa keterampilan proses sains adalah inti dari pembelajaran berbasis penyelidikan. Keterampilan proses sains merupakan bagian integral dari pendidikan sains yang berkontribusi pada pembentukan masyarakat yang melek sains (McComas, 2014). Masyarakat yang memiliki pengetahuan tentang konsep, prinsip, dan teori sains, dapat lebih produktif dan responsif terhadap isu-isu ekonomi, sosial, dan lingkungan (Abd-El-khalick & Lederman, 2000; Eisenhart et al., 1996).

Keterampilan proses sains memiliki peran penting dalam pendidikan sains karena dapat meningkatkan kemampuan kognitif dan keterampilan berpikir kritis peserta didik, yang pada akhirnya memperkuat pemahaman peserta didik terhadap konsep ilmiah (Harlen, 1999; Choirunnisa et al., 2018). Menerapkan keterampilan proses sains, peserta didik tidak hanya menguasai konsep sains lebih mendalam,

tetapi juga mengembangkan sikap positif terhadap sains, serta meningkatkan motivasi dan minat belajar (Zeidan & Jayosi, 2014). Keterampilan proses sains juga memainkan peran penting dalam membangun kemampuan berpikir reflektif, inovatif, dan adaptif, yang sangat relevan dalam menghadapi tantangan dan persaingan global (Turiman et al., 2012).

c. Karakteristik Keterampilan Proses Sains

Sains mencakup kumpulan pengetahuan, pemahaman tentang proses, dan cara berpikir, di mana keterampilan proses sains diperlukan untuk mempelajari proses ilmiah serta membantu individu mengontekstualisasikan kumpulan pengetahuan tersebut (Veal et al., 2009). Keterampilan proses sains dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu keterampilan dasar dan keterampilan terpadu (Bahtiar & Dukomalamo, 2019; Elfeky et al., 2020). Keterampilan dasar mencakup mengamati, mengklasifikasi, berkomunikasi, mengukur, memprediksi, dan menyimpulkan, sedangkan keterampilan terpadu meliputi mengidentifikasi dan mengendalikan variabel, merumuskan serta menguji hipotesis, menginterpretasikan data, mendefinisikan secara operasional, melakukan eksperimen, dan membuat model (Martin, 2009).

Keterampilan proses sains mencakup keterampilan dasar dalam metode ilmiah, seperti observasi, perumusan hipotesis, dan interpretasi data, yang mendorong peserta didik untuk memahami prinsip sains melalui pengalaman langsung dan investigasi mandiri (Shahali & Halim, 2010). Fitur utama keterampilan proses sains menurut Finley (1983) meliputi:

- 1) Keterampilan proses sains memiliki struktur hierarki, di mana keterampilan pada tingkat yang lebih tinggi dibangun dari proses dasar.
- 2) Setiap keterampilan proses sains adalah kemampuan intelektual penting yang diterapkan ilmuwan untuk memahami fenomena.
- 3) Keterampilan proses sains mencerminkan perilaku ilmiah yang dapat dipelajari peserta didik.
- 4) Keterampilan proses sains bersifat umum dan dapat diterapkan di berbagai bidang, berperan dalam mengembangkan pemikiran rasional sehari-hari.

Charlesworth (2016) mengungkapkan bahwa keterampilan proses sains memungkinkan peserta didik memproses informasi baru melalui pengalaman konkret dan berkembang secara bertahap. Pada jenjang prasekolah dan sekolah dasar, keterampilan dasar seperti mengamati, membandingkan, mengklasifikasi, mengukur, dan berkomunikasi sangat penting untuk kehidupan sehari-hari dan studi lebih lanjut di bidang sains dan matematika. Seiring perkembangan, peserta didik akan mampu menguasai keterampilan proses tingkat menengah, seperti mengumpulkan dan mengorganisasi informasi, menyimpulkan, serta memprediksi. Dengan dasar keterampilan yang kuat, peserta didik di jenjang lebih tinggi dapat menerapkan keterampilan yang lebih kompleks, seperti merumuskan hipotesis dan mengendalikan variabel dalam eksperimen. Deskripsi keterampilan proses sains dasar, menengah, dan lanjutan disajikan dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Deskripsi Keterampilan Proses Sains Dasar, Menengah, dan Lanjutan

No.	Keterampilan Proses Sains	Deskripsi
Keterampilan Proses Dasar		
1	Mengamati	Menggunakan panca indera untuk mengumpulkan informasi tentang objek atau peristiwa.
2	Membandingkan	Mengidentifikasi persamaan dan perbedaan pada objek nyata. Di tingkat dasar, siswa mulai membandingkan serta membedakan ide, konsep, dan objek.
3	Mengklasifikasi	Mengelompokkan dan menyortir berdasarkan sifat tertentu seperti ukuran, bentuk, warna, dan fungsi.
4	Mengukur	Memberikan deskripsi kuantitatif yang diperoleh baik secara langsung melalui pengamatan maupun dengan alat ukur tertentu.
5	Mengkomunikasikan	Menyampaikan ide, petunjuk, dan deskripsi baik secara lisan maupun tertulis, seperti melalui gambar, peta, grafik, atau jurnal, sehingga dapat dipahami oleh orang lain.
Keterampilan Proses Menengah		
6	Menyimpulkan (Inferensi)	Berdasarkan hasil pengamatan, memberikan makna lebih dalam dari situasi yang diamati dengan mengenali pola dan memperkirakan kemungkinan kejadian serupa di masa mendatang.

No.	Keterampilan Proses Sains	Deskripsi
7	Memprediksi	Membuat perkiraan yang masuk akal berdasarkan pengamatan serta pengalaman dan pengetahuan sebelumnya.
Keterampilan Proses Lanjutan		
8	Merumuskan Hipotesis	Membuat pernyataan berdasarkan pengamatan yang dapat diuji melalui eksperimen. Contohnya, “Jika air dimasukkan ke dalam <i>freezer</i> semalaman, maka air akan membeku.”
9	Menentukan dan Mengendalikan Variabel	Mengidentifikasi variabel dalam sebuah eksperimen yang perlu diamati atau dikendalikan untuk memastikan eksperimen yang terkontrol. Misalnya, dalam penelitian pertumbuhan tanaman di tempat gelap, perlu dilakukan perbandingan dengan tanaman yang tumbuh di tempat terang.

Sumber: Charlesworth (2016)

Menurut Solé-Llussà et al. (2019), keterampilan proses sains utama yang terlibat dalam proses inkuiri mencakup beberapa tahapan penting, yaitu (1) mengidentifikasi pertanyaan penelitian, (2) merumuskan hipotesis dan prediksi, (3) mengidentifikasi variabel penelitian, (4) merencanakan investigasi, (5) merepresentasikan data pengamatan, dan (6) menganalisis data dan membuat penjelasan ilmiah. Tahap pertama adalah mengidentifikasi pertanyaan penelitian yang relevan sebagai dasar eksplorasi ilmiah. Selanjutnya, peserta didik diharapkan dapat merumuskan gagasan awal, termasuk hipotesis dan prediksi, yang menjadi acuan dalam pengujian lebih lanjut.

Setelah itu, peserta didik harus mampu mengidentifikasi variabel yang terlibat, baik variabel bebas, terikat, maupun kontrol, untuk memastikan keabsahan eksperimen. Tahap berikutnya adalah merencanakan penyelidikan secara sistematis, termasuk menentukan metode dan alat yang digunakan. Setelah data terkumpul, peserta didik dituntut untuk merepresentasikan data tersebut dalam bentuk tabel, grafik, atau diagram yang jelas dan informatif. Terakhir, data dianalisis untuk membuat penjelasan ilmiah yang logis, berdasarkan bukti yang telah diperoleh.

d. Cara Mengukur Keterampilan Proses Sains

Menurut Lawson (2010), tes uraian memiliki keunggulan untuk mengukur keterampilan proses sains dibandingkan tes objektif karena mampu secara efektif menilai hasil pembelajaran kompleks, seperti mendeskripsikan hubungan sebab-akibat, menginterpretasikan data, menguji hipotesis, dan membuat grafik, sehingga cocok untuk mengukur keterampilan proses sains. Selain itu, penilaian uraian memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuan untuk menguji proses berpikir dan penalaran peserta didik, mengukur keterampilan berpikir tingkat tinggi atau keterampilan berpikir kritis, serta memberikan pengalaman yang relevan dengan dunia nyata (Zubaidah, 2018). Tes uraian sering digunakan oleh pendidik karena mampu menunjukkan sejauh mana peserta didik dapat mengumpulkan, mengorganisasi, mensintesis, dan menganalisis pengetahuan (Amanda et al., 2023).

Duda et al. (2019) menggunakan tes soal uraian untuk mengukur keterampilan proses sains peserta didik. Langkah pertama adalah menyusun kerangka soal, kemudian diikuti dengan penulisan soal uraian yang mencakup indikator pembelajaran, indikator keterampilan proses sains, aspek penilaian, serta jumlah soal yang akan digunakan. Tes ini dilengkapi dengan kunci jawaban dan rubrik penilaian yang memiliki rentang skor dari 0 hingga 4.

Solé-Llussà et al. (2019) mengukur keterampilan proses sains peserta didik menggunakan enam soal terbuka yang berfokus pada proses penelitian terkait pertumbuhan tanaman. Setiap soal dirancang untuk mengukur keterampilan proses sains tertentu, yaitu: mengidentifikasi pertanyaan penelitian, merumuskan ide awal seperti hipotesis dan prediksi, mengidentifikasi variabel, merencanakan penyelidikan, merepresentasikan data, serta menganalisis data dan membuat penjelasan ilmiah. Tes ini divalidasi oleh tujuh ahli dengan mempertimbangkan kejelasan bahasa dan relevansi soal terhadap tujuan evaluasi. Setelah melalui beberapa revisi, tes final disepakati dan divalidasi sepenuhnya. Jawaban peserta didik dianalisis menggunakan rubrik penilaian yang menilai keterampilan proses sains dengan skala 0–4 berdasarkan tingkat kemahiran. Selanjutnya, skor awal dan akhir peserta didik dianalisis menggunakan uji *Wilcoxon* untuk menentukan

perbedaan signifikan secara statistik antara tingkat kemahiran awal dan akhir pada setiap keterampilan proses sains.

e. Cara Meningkatkan Keterampilan Proses Sains

Idris et al. (2022) dalam penelitiannya mengidentifikasi berbagai strategi yang efektif dalam menguasai keterampilan proses sains melalui analisis tematik. Hasil kajian menunjukkan tujuh subtema utama yang dapat digunakan sebagai pendekatan strategis. Strategi tersebut meliputi penerapan *hands-on* dan *minds-on* untuk melibatkan peserta didik secara aktif dalam pembelajaran, pendekatan berbasis inkuiri yang mendorong eksplorasi mandiri, dan pembelajaran berbasis penemuan yang memungkinkan peserta didik menemukan konsep secara langsung. Selain itu, pengembangan keterampilan manipulatif strategis dan keterampilan argumentasi menjadi fokus penting untuk meningkatkan kemampuan praktis dan berpikir kritis peserta didik. Pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi juga diidentifikasi sebagai cara untuk memperluas akses dan interaktivitas dalam pembelajaran. Terakhir, kegiatan integrasi STEM yang berorientasi pada rekayasa memberikan pengalaman lintas disiplin yang dapat meningkatkan inovasi dan kemampuan pemecahan masalah.

Özgelen (2012) menyatakan bahwa teori kognitif dari Piaget (1964) merupakan salah satu teori penting yang menjelaskan perkembangan intelektual manusia dan dapat digunakan untuk memahami hubungan antara domain kognitif dan keterampilan proses sains. Teori ini berpendapat bahwa struktur kognitif peserta didik berubah bergantung pada interaksi antara individu dan lingkungannya. Konsep ini didasarkan pada paradigma konstruktivis, di mana selama proses pembelajaran, peserta didik didorong untuk membangun pengetahuan sendiri melalui keterlibatan aktif dalam proses belajar (Vaithyanathan & Sivakumar, 2013). Selain itu, teori pembelajaran sosial juga mendukung konsep ini (Pradana et al., 2020). Teori pembelajaran sosial menekankan pentingnya observasi dan partisipasi dalam interaksi sosial sebagai dasar bagi perkembangan kognitif (Arends, 2012).

2.1.4 Proses Desain Rekayasa

a. Definisi Proses Desain Rekayasa

Menurut Dym et al. (2002), desain rekayasa didefinisikan sebagai proses sistematis dan intelektual untuk menentukan konsep produk, sistem, dan proses yang bertujuan memenuhi tujuan klien serta kebutuhan pengguna, dengan tetap mempertimbangkan batasan yang ada, mencakup tahap pengembangan dan evaluasi dari konsep-konsep yang telah ditentukan. Asunda & Hill (2017) mendefinisikan desain rekayasa sebagai proses yang orisinal, berulang, dan terbuka dalam merancang serta mengembangkan komponen, sistem, dan proses. Selain itu, Benavides (2012) mendefinisikan desain rekayasa sebagai proses merancang dan menerapkan suatu rencana untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Menurut Jolly (2017), proses desain rekayasa adalah pendekatan sistematis, terorganisasi, dan terbuka yang digunakan oleh peserta didik STEM untuk menyelesaikan masalah serta merancang solusi. Lebih lanjut dikatakan bahwa proses ini mendorong kreativitas, inovasi, dan pengembangan prototipe, yang dilengkapi dengan pengujian serta analisis. Selain itu, dalam penerapannya, peserta didik mempertimbangkan berbagai kriteria, batasan, dan kompromi untuk mencapai solusi yang optimal. Jolly juga mengungkapkan bahwa proses desain rekayasa berfungsi sebagai metode investigasi terstruktur yang mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis dan eksplorasi guna menghasilkan solusi yang efektif dan inovatif.

b. Karakteristik Proses Desain Rekayasa

Desain rekayasa memiliki karakteristik sebagai proses sistematis yang bertujuan untuk menciptakan produk yang kreatif untuk memenuhi kebutuhan pengguna dan batasan yang ditentukan, dengan memanfaatkan pengetahuan ilmiah, matematika, dan teknik yang dimiliki oleh perancang (Han & Shim, 2019). Lebih lanjut dikatakan bahwa proses ini dimulai dengan mendefinisikan masalah, mengumpulkan informasi yang relevan, mengembangkan berbagai solusi, dan memilih solusi terbaik. Setelah itu, dibuat prototipe yang kemudian diuji untuk memastikan fungsi dan efektivitasnya. Hasil akhirnya adalah produk atau sistem baru yang dirancang secara inovatif untuk menjawab kebutuhan

pengguna. Proses ini juga melibatkan dokumentasi dan presentasi sebagai langkah akhir untuk menyampaikan hasil desain kepada pemangku kepentingan. Dengan pendekatan yang terstruktur, desain rekayasa memastikan setiap solusi yang dihasilkan efektif, efisien, dan tepat sasaran. Karakteristik desain rekayasa ditampilkan dalam Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Karakteristik Desain Rekayasa

Aspek	Deskripsi
Makna masalah	Mengembangkan produk dan sistem untuk memenuhi kebutuhan tertentu
Makna pemecahan masalah	Menciptakan produk dan sistem baru
Produk akhir	Produk dan sistem baru
Tahapan	Mendefinisikan masalah, mengumpulkan informasi yang relevan, mengembangkan solusi yang mungkin, memilih solusi terbaik, membuat prototipe, menguji prototipe, dokumentasi dan presentasi

Sumber: Han & Shim (2019)

Berdasarkan penelitian Maier & Störrl, (2011), terdapat sembilan karakteristik yang diperoleh dari kajian literatur desain rekayasa, yang kemudian dikelompokkan menjadi tiga tantangan utama, seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.3. Tantangan pertama, yaitu pengembangan, mencakup aspek desain yang kompleks, iteratif, dan tidak terdefinisi dengan jelas, di mana solusi yang dikembangkan sering kali memerlukan eksplorasi berulang untuk mencapai hasil yang optimal. Tantangan kedua, kolaborasi, mencakup interaksi antar proses, antar organisasi, dan antar individu yang beragam dalam tim multidisiplin, yang membutuhkan komunikasi yang efektif meskipun terdapat perbedaan keahlian dan batasan teknologi. Tantangan ketiga, produk dan layanan, berfokus pada perubahan dari penjualan produk fisik menuju sistem produk-layanan, yang menghadapi kendala fisik, ekonomi, pasar, serta peraturan legislatif yang harus dipertimbangkan dalam setiap tahapan desain rekayasa.

Tabel 2.3 Tantangan dan Karakteristik Proses Desain Rekayasa

Tantangan	Karakteristik
Pengembangan	Proses desain rekayasa adalah: <ul style="list-style-type: none"> - kompleks, - iteratif, dan - tidak terdefinisi dengan jelas.
Kolaborasi	Proses desain rekayasa terbenam dalam ekosistem dengan berbagai

Tantangan	Karakteristik
	Ketergantungan dan interaksi antara: <ul style="list-style-type: none"> - proses yang berbeda, - orang-orang yang terlibat, dan - proses dan organisasi.
Produk dan Layanan	Proses desain rekayasa dibatasi dan dipengaruhi oleh: <ul style="list-style-type: none"> - sifat fisik dari artefak yang dikembangkan, - pembatasan ekonomi dan pasar, dan - pembatasan legislasi dan regulasi.

Sumber: Maier & Störri (2011)

c. Tahapan Proses Desain Rekayasa

Integrasi proses desain rekayasa dalam STEM adalah sebuah mode pedagogi yang secara sengaja menempatkan sains dan matematika dalam konteks desain teknologi untuk menciptakan lingkungan belajar pemecahan masalah di mana peserta didik membayangkan solusi untuk tantangan desain, mengumpulkan informasi, dan menyelesaikan masalah nyata melalui penggunaan proses desain rekayasa (Wahono et al., 2020; Sanders, 2009). Mode pedagogi ini diharapkan mampu meningkatkan daya saing peserta didik di tengah pesatnya perkembangan ekonomi berbasis pengetahuan (Lin et al., 2021). Dengan demikian, mode pedagogi ini mendorong terbentuknya kelompok belajar yang secara mandiri bertanggung jawab atas proses pembelajaran peserta didik, sehingga tujuan pembelajaran pun tercapai melalui kolaborasi dan saling berbagi antar anggota tim (Milentijevic et al., 2008).

Integrasi proses desain rekayasa dalam STEM memiliki tujuh langkah, yaitu (1) mengidentifikasi dan mendefinisikan masalah, (2) mengumpulkan informasi yang relevan, (3) mengidentifikasi solusi yang memungkinkan, (4) membuat prototipe atau model, (5) menguji prototipe atau model yang dibuat, (6) merefleksi hasil pengujian dan melakukan perancangan ulang jika diperlukan, serta (7) mengomunikasikan hasil rancangan (Nurtanto et al., 2020). Menurut Wind et al. (2019), tujuh langkah proses desain rekayasa meliputi *identify the problem, understand, ideate, evaluate, prototyping & testing, iteration*, dan *communicate your solution*. Definisi operasionalnya disajikan dalam Lampiran 6.

Jolly (2017) mengemukakan delapan langkah proses desain rekayasa, yaitu (1) *define the problem*, (2) *research*, (3) *imagine*, (4) *plan*, (5) *create*, (6) *test and*

evaluate, (7) *redesign*, dan (8) *communicate*. Langkah pertama adalah mendefinisikan masalah yang akan dipecahkan, diikuti oleh penelitian untuk mengumpulkan informasi yang relevan. Selanjutnya, anggota tim melakukan *brainstorming* untuk menghasilkan ide-ide kreatif dan memilih solusi terbaik yang akan digunakan dalam merancang prototipe. Setelah itu, tim membangun prototipe yang telah direncanakan, kemudian menguji dan mengevaluasi apakah prototipe tersebut bekerja sesuai kriteria yang ditentukan. Jika diperlukan, tim melakukan perbaikan dan merancang ulang perangkat tersebut. Sebagai langkah akhir, anggota tim menyampaikan rincian tentang masalah, solusi yang dirancang, serta hasil dari pengujian. Proses ini memastikan bahwa solusi yang dihasilkan efektif dan dapat memenuhi kebutuhan yang ada. Jolly menambahkan bahwa langkah-langkah proses desain rekayasa tidak selalu berurutan dan masing-masing dapat diulang sebanyak yang diperlukan.

Proses desain rekayasa yang diterapkan dalam setiap penelitian memiliki perbedaan. Untuk mengajarkan konsep rekayasa dengan tepat, perlu terlebih dahulu menjelaskan langkah-langkah utama yang terlibat serta peran disiplin ilmu lain, seperti sains, matematika, dan teknologi, dalam proses desain rekayasa (Reimers et al., 2015). Enam langkah dasar dalam desain rekayasa telah dikonseptualisasikan berdasarkan hasil penelitian dari beberapa ahli, yaitu: (1) mendefinisikan masalah, (2) mengembangkan solusi, (3) menganalisis data, (4) memodelkan solusi, (5) melakukan pengujian dan modifikasi, serta (6) mengoptimalkan proses (Fan et al., 2020).

Langkah pertama dalam proses desain rekayasa adalah mendefinisikan masalah. Memahami kebutuhan dan batasan desain menjadi kunci untuk menjelaskan masalah rekayasa sekaligus membantu peserta didik mengembangkan solusi lebih efektif melalui identifikasi batasan dan kompromi guna mempersempit ruang solusi (Jin & Chusilp, 2006; Lewis, 2005). Mengembangkan solusi melibatkan evaluasi berbagai alternatif untuk menentukan solusi yang paling sesuai dengan kriteria dan batasan masalah melalui proses pengumpulan data, analisis, konseptualisasi, dan pemilihan solusi optimal berdasarkan analisis lebih lanjut (NGSS, 2013).

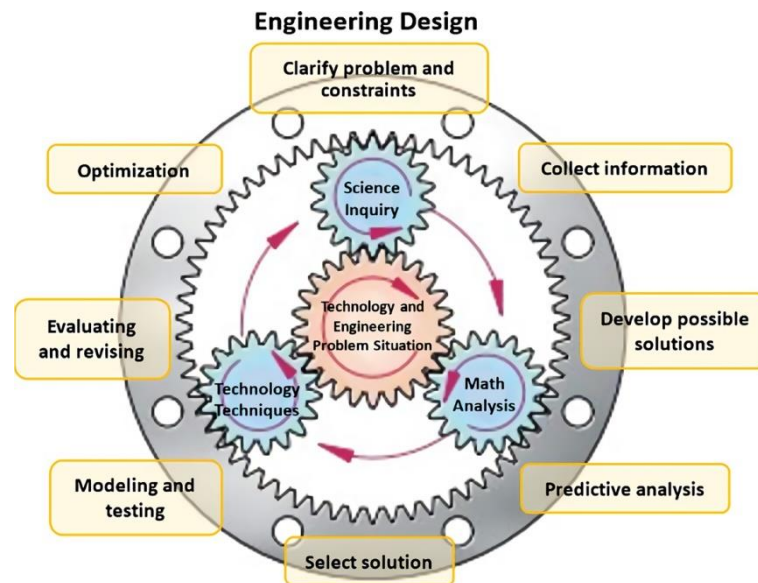
Analisis adalah proses berpikir sistematis yang bertujuan untuk menelaah berbagai masalah dalam desain, termasuk mendefinisikan masalah, merefleksikan keputusan desain, mengevaluasi kinerja solusi, menentukan kelayakan, menilai alternatif, dan menyelidiki kegagalan (NRC, 2009). Kemampuan analisis merupakan kompetensi inti terpenting dalam seluruh proses desain rekayasa (Fan et al., 2020). Merrill et al. (2008) menekankan pentingnya guru memperkuat pengajaran pengetahuan konseptual dan prosedural untuk mengintegrasikan konsep rekayasa dalam kurikulum teknologi.

Pemodelan merupakan langkah penting dalam desain rekayasa, didefinisikan oleh NRC (2009) sebagai sistem, prosedur desain, atau representasi fitur utama produk dalam bentuk grafis, fisik, atau matematis. Johnson & Sondergeld (2015) menyatakan bahwa meningkatkan kemampuan pemodelan peserta didik melalui aktivitas desain rekayasa dapat memperkuat pemahaman konseptual dan kinerja peserta didik. Lebih lanjut dikatakan bahwa pemodelan penting untuk analisis prediktif dan pengujian, sehingga guru perlu mendorong peserta didik menerapkan pengetahuan sains dan matematika peserta didik dalam desain teknologi dan rekayasa.

Pengujian, modifikasi, dan optimalisasi solusi adalah langkah penting dalam desain rekayasa yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah secara menyeluruh (Asunda & Hill, 2017). Optimalisasi dilakukan untuk menemukan solusi terbaik dengan mempertimbangkan hasil pengujian, analisis, dan kompromi terhadap berbagai kendala (NRC, 2009). Dalam menyelesaikan masalah rekayasa dunia nyata, hasil desain yang ideal dan realistis diperoleh melalui perancangan ulang yang mempertimbangkan kendala relevan dan pengalaman sebelumnya (Fan et al., 2020).

Fan & Yu (2016) telah mengembangkan kerangka kurikulum desain rekayasa untuk tingkat sekolah menengah atas, yang digunakan sebagai panduan dalam merancang aktivitas pembelajaran integrasi proses desain rekayasa dalam STEM. Kerangka ini terdiri dari delapan langkah, yaitu: (1) *clarify problem and constraints*, (2) *collect information*, (3) *develop possible solutions*, (4) *predictive analysis*, (5) *select solution*, (6) *modeling and testing*, (7) *evaluating and revising*,

dan (8) *optimization* (Fan et al., 2017). Kerangka kerja kurikulum desain rekayasanya ditampilkan dalam Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Kerangka Kerja Kurikulum Desain Rekayasa

Sumber: Fan et al. (2017)

Menurut kerangka kerja tersebut, roda gigi luar mengarahkan proses desain rekayasa, roda gigi tengah memberikan konteks pembelajaran, sementara penyelidikan ilmiah, analisis matematis, dan teknik teknologi menghubungkan ide desain dengan implementasi (Fan et al., 2017).

Lebih spesifik, Fan et al. (2017) menjelaskan bahwa untuk membantu peserta didik memahami penerapan pengetahuan konseptual dalam proses desain rekayasa, beberapa elemen dalam kerangka kurikulum ditekankan melalui aktivitas pembelajaran STEM yang dirancang khusus. Pertama, kemampuan mengidentifikasi masalah dan batasan sangat penting, karena membantu peserta didik memecah proyek menjadi masalah-masalah kecil yang dapat diselesaikan secara terpisah, sementara perbedaan utama antara insinyur dan peserta didik terletak pada kompetensi menentukan ruang lingkup masalah dan mengumpulkan informasi (NGSS, 2013; Atman et al., 2007). Kedua, kemampuan merancang solusi memerlukan pengetahuan STEM yang tepat dan kreativitas (Fan et al., 2017). Ketiga, analisis prediktif berperan penting dalam menentukan solusi terbaik sebelum diterapkan, di mana Crismond & Adams (2012) mencatat bahwa

kemampuan mendefinisikan masalah dan memprediksi kelayakan ide merupakan perbedaan utama antara ahli rekayasa dan pemula. Keempat, kemampuan memodelkan, menguji prototipe, dan melakukan revisi secara berulang untuk menentukan pendekatan yang berhasil sangat penting, terutama saat peserta didik mempelajari pengetahuan STEM melalui evaluasi dan perancangan ulang (English & King, 2015). Selama analisis prediktif, pemodelan, pengujian, revisi, dan optimasi, peserta didik diharapkan menggunakan prinsip ilmiah, matematika, atau alat teknologi (misalnya simulasi komputer) untuk menguji solusi dalam berbagai kondisi, menganalisis hasilnya, dan menyempurnakan desain guna menemukan solusi paling tepat (Fan et al., 2017; Asunda & Hill, 2017).

d. Kelebihan dan Kekurangan Proses Desain Rekayasa

Proses desain rekayasa memiliki kelebihan untuk peningkatan partisipasi, minat, dan konsep diri peserta didik, sebagaimana dijelaskan oleh Capobianco (2011) pada 274 peserta didik sekolah dasar. Schnittka (2012) juga melaporkan peningkatan pemahaman konsep pada topik perpindahan panas dan energi termal di 27 peserta didik SMP, sementara Fan dan Yu (2015) menemukan bahwa proses desain rekayasa meningkatkan pemahaman konseptual, kemampuan berpikir tingkat tinggi, dan keterampilan merancang proyek pada 332 peserta didik SMA.

Kampe & Oppliger (2012) mengungkapkan bahwa proses desain rekayasa melengkapi kelemahan *Project-Based Learning* dengan menyediakan struktur sistematis yang mendukung pembelajaran iteratif, mendalam, dan terarah, sehingga membantu peserta didik mengatasi kegagalan sambil mengembangkan solusi inovatif. Selain itu, proses desain rekayasa juga memperkuat keterampilan metakognitif seperti perencanaan, pemantauan, dan evaluasi diri, serta menciptakan kerangka kerja seragam untuk meningkatkan kolaborasi dalam proyek berbasis STEM. Lebih lanjut diungkapkan bahwa proses desain rekayasa memiliki sejumlah keunggulan, yaitu:

- 1) Mengintegrasikan berbagai bidang STEM serta memperkuat pembelajaran sains dan matematika.
- 2) Memberikan kerangka untuk mengajarkan keterampilan metakognitif kepada peserta didik.

- 3) Melatih peserta didik dengan berpikir konvergen dan divergen secara berulang.
- 4) Mengajarkan pentingnya keberagaman dalam pembelajaran.
- 5) Memberi kesempatan bagi peserta didik untuk belajar dari kegagalan dan tetap bertahan dalam bidang STEM.
- 6) Meningkatkan literasi teknologi bagi guru dan peserta didik.

Proses desain rekayasa memiliki kelemahan, di antaranya memerlukan waktu lebih banyak dibandingkan pendekatan lain, karena mencakup evaluasi dan perancangan ulang proyek (Winarno, Rusdiana, Samsudin, et al., 2020). Guru juga menghadapi tantangan dalam menentukan proyek yang sesuai dan menghubungkan proyek dengan topik yang dipelajari peserta didik (Chao et al., 2017). Selain itu, proses desain rekayasa masih dianggap baru sehingga konsistensi dalam implementasinya belum optimal (Selcen Guzey et al., 2016).

Marulcu & Barnett (2016) mengungkapkan bahwa desain rekayasa berlandaskan pada pendekatan teoretis kecerdasan *triarchic* dari Sternberg yang menekankan pengembangan keterampilan analitis, kreatif, dan praktis pada peserta didik. Lebih lanjut dikatakan bahwa kegiatan desain rekayasa memberikan ruang alami bagi guru sains untuk memanfaatkan berbagai kemampuan kognitif yang dijelaskan dalam teori kecerdasan *triarchic*. Penelitian oleh Sternberg dan kolega menunjukkan bahwa instruksi berbasis *triarchic* dapat meningkatkan kinerja peserta didik dalam berbagai mata pelajaran, termasuk sains, dibandingkan dengan pendekatan tradisional (Grigorenko et al., 2002).

2.1.5 STEM

a. Definisi STEM

STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) adalah pendekatan pembelajaran lintas disiplin yang mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika ke dalam pengalaman belajar yang relevan dengan dunia nyata, mendalam, dan menantang, dengan menghilangkan batasan tradisional antar bidang tersebut (Vasquez, Sneider, & Comer, (2013) dalam Vasquez et al., 2020). Deskripsi keempat disiplin dalam STEM disajikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Deskripsi Keempat Disiplin dalam STEM

Komponen	Deskripsi
<i>Science</i>	Sains adalah cara berpikir. Sains melibatkan kegiatan mengamati, bereksperimen, membuat prediksi, berbagi penemuan, mengajukan pertanyaan, dan memahami cara kerja sesuatu. Jika peserta didik bertanya dan berusaha menemukan jawabannya, itu adalah bagian dari sains.
<i>Technology</i>	Teknologi adalah cara melakukan sesuatu. Teknologi melibatkan penggunaan alat, berinovasi, mengidentifikasi masalah, dan membuat sesuatu berfungsi. Teknologi dapat berupa objek, sistem, atau proses. Teknologi bukan hanya perangkat atau alat elektronik, tetapi mencakup semua jenis alat yang dikembangkan manusia untuk mempermudah hidup atau pekerjaannya.
<i>Engineering</i>	Rekayasa adalah proses memecahkan masalah. Ketika peserta didik menggunakan berbagai bahan, menciptakan desain, membangun prototipe, atau memperbaiki solusi yang sudah ada, peserta didik terlibat dalam proses rekayasa.
<i>Mathematics</i>	Matematika adalah proses penerapan. Operasi dengan angka memungkinkan pengukuran, pengurutan, pengenalan pola, eksplorasi bentuk, volume, dan ukuran; serta membantu peserta didik mengkuantifikasi pengamatan atau solusi.

Sumber: Vasquez et al. (2020)

Framework for K–12 Science Education menekankan bahwa sains bukan hanya kumpulan pengetahuan yang mencerminkan pemahaman terkini tentang dunia, tetapi juga serangkaian praktik yang digunakan untuk membangun, memperluas, dan menyempurnakan pengetahuan tersebut (NRC, 2009). Selanjutnya, kerangka kerja ini memiliki visi untuk mengintegrasikan tiga dimensi pembelajaran, yaitu konten, praktik, dan konsep lintas disiplin. Bagaimana ketiga dimensi ini diintegrasikan ke dalam pengalaman pembelajaran praktis diserahkan kepada pendidik di kelas.

Menurut Honey et al. (2014), integrasi STEM didefinisikan sebagai pembelajaran dalam konteks fenomena atau situasi kompleks, di mana tugas-tugas yang diberikan menuntut peserta didik untuk menggunakan pengetahuan dan keterampilan dari berbagai disiplin ilmu. Integrasi ini tidak hanya menekankan penguasaan konsep secara terpisah, tetapi juga menekankan penerapannya dalam pemecahan masalah nyata yang bersifat multidisipliner. Tingkatan integrasi STEM disajikan secara rinci pada Tabel 2.5, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai variasi level integrasi yang dapat diterapkan dalam konteks pembelajaran.

Tabel 2.5 Tingkatan Integrasi STEM

Tingkatan Integrasi	Ciri Khas
Disipliner	Konsep dan keterampilan dipelajari secara terpisah dalam masing-masing disiplin ilmu. Pendekatan ini menekankan pembelajaran mendalam di dalam satu bidang tertentu tanpa menghubungkan langsung dengan disiplin lainnya.
Multidisipliner	Konsep dan keterampilan dipelajari secara terpisah dalam setiap disiplin ilmu tetapi dalam kerangka tema yang sama. Pendekatan ini membantu peserta didik melihat hubungan tematis antara berbagai disiplin meskipun tetap mempelajarinya secara independen.
Interdisipliner	Konsep dan keterampilan yang saling terkait dipelajari dari dua atau lebih disiplin ilmu dengan tujuan memperdalam pemahaman dan keterampilan peserta didik. Integrasi ini menekankan hubungan antar disiplin untuk memperkaya pengalaman belajar peserta didik.
Transdisipliner	Pengetahuan dan keterampilan dari dua atau lebih disiplin ilmu diterapkan untuk memecahkan masalah nyata dan melibatkan proyek-proyek praktis, sehingga menciptakan pengalaman belajar yang bermakna. Pendekatan ini menempatkan peserta didik dalam konteks dunia nyata yang menuntut penguasaan lintas disiplin.

Sumber: Vasquez, Sneider, & Comer, (2013) dalam Vasquez et al. (2020)

b. Karakteristik STEM

Menurut Jolly (2017), program STEM yang baik memiliki delapan kriteria utama. Pertama, proses desain rekayasa digunakan untuk mengintegrasikan sains, matematika, dan teknologi secara terpadu. Kedua, konten sains dan matematika harus berbasis standar, sesuai tingkat kelas, dan diterapkan dalam pembelajaran. Ketiga, peserta didik diarahkan untuk memecahkan masalah dunia nyata atau tantangan rekayasa. Keempat, peserta didik secara rutin bekerja dalam tim untuk merancang, membuat prototipe, dan produk, kemudian menguji, mengevaluasi, serta merencanakan perbaikan.

Selanjutnya, kelima, peserta didik menggunakan berbagai pendekatan komunikasi untuk menggambarkan tantangan yang dihadapi dan menjelaskan hasil yang diperoleh. Keenam, guru berperan sebagai fasilitator dalam pembelajaran berbasis inkuiri yang berpusat pada peserta didik, dengan menekankan investigasi langsung atau *hands-on*. Ketujuh, kegagalan dianggap sebagai bagian alami dari proses desain dan langkah penting menuju solusi yang lebih baik atau berhasil. Kedelapan, peserta didik diperkenalkan pada karir di bidang STEM atau penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Roehrig et al. (2021) mengembangkan kerangka konseptual terperinci tentang integrasi STEM berdasarkan tinjauan mendalam terhadap penelitian di bidang pendidikan STEM. Tujuh karakteristik kunci yang saling terkait berhasil diidentifikasi, dengan penekanan pada keterlibatan peserta didik dalam praktik STEM daripada sekadar pendekatan pedagogi yang berpusat pada peserta didik. Tujuh karakteristik kunci integrasi STEM ditunjukkan dalam Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6 Tujuh Karakteristik Kunci Integrasi STEM

Karakteristik	Deskripsi Singkat Pengalaman Peserta Didik
Berfokus pada masalah dunia nyata	Peserta didik belajar melalui penyelesaian masalah berbasis konteks yang memiliki berbagai solusi, serta menerapkan dan memperluas pengetahuan sebagai agen perubahan.
Keterlibatan dalam desain rekayasa	Peserta didik terlibat dalam seluruh proses berpikir desain, termasuk menghadapi kegagalan dan peluang untuk mendesain ulang.
Integrasi konteks	Peserta didik menerapkan konten disiplin STEM melalui penyelesaian masalah berbasis konteks, sekaligus menempatkan pengetahuan disiplin tersebut dalam konteks sosial yang lebih luas.
Integrasi konten	Hubungan eksplisit antar mata pelajaran STEM dibuat jelas, serta penggunaan matematika dan teknologi diperluas melampaui alat untuk mendukung ilmu pengetahuan dan rekayasa.
Keterlibatan dalam praktik STEM autentik	Peserta didik terlibat dalam jalur solusi yang ditentukan sendiri, memiliki agensi epistemik dengan memanfaatkan pengetahuan budaya dan personal, serta menerapkan praktik data dan penalaran berbasis bukti.
Keterampilan abad ke-21	Peserta didik berpartisipasi dalam kolaborasi, berpikir kritis, kreativitas, dan tugas kognitif tingkat tinggi.
Karier STEM	Peserta didik belajar tentang berbagai karier STEM dan mendapatkan paparan terhadap model peran dalam bidang tersebut.

Sumber: Roehrig et al. (2021)

c. Tujuan STEM

Menurut Honey et al. (2014), tujuan integrasi pendidikan STEM mencakup pengembangan literasi STEM, kompetensi abad ke-21, kesiapan tenaga kerja di bidang STEM, minat dan keterlibatan peserta didik, serta kemampuan untuk membuat koneksi antar disiplin STEM. Literasi STEM meliputi pemahaman tentang peran sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam masyarakat, penguasaan konsep dasar dari setiap disiplin, serta kemampuan untuk menerapkannya dalam konteks kehidupan sehari-hari. Kompetensi abad ke-21

mencakup keterampilan kognitif seperti berpikir kritis dan inovasi, kemampuan interpersonal seperti komunikasi dan kolaborasi, serta keterampilan intrapersonal seperti fleksibilitas dan metakognisi. Kesiapan tenaga kerja di bidang STEM diarahkan untuk membentuk individu yang memiliki keterampilan STEM melalui pendidikan kejuruan, program teknis, atau jenjang akademik terkait STEM, baik pada level sertifikasi, diploma, maupun sarjana. Selain itu, integrasi STEM bertujuan untuk meningkatkan minat dan keterlibatan peserta didik terhadap STEM, terutama di kalangan kelompok yang kurang terwakili. Program STEM juga berfokus pada pengembangan kemampuan peserta didik dan pendidik untuk mengenali dan mengaplikasikan koneksi antar disiplin guna memperkuat pemahaman konsep secara lebih luas dan terintegrasi. Di sisi lain, untuk pendidik, tujuan integrasi STEM mencakup peningkatan pengetahuan konten STEM, pedagogi, dan keterampilan dalam menghubungkan berbagai disiplin STEM melalui pengembangan profesional yang relevan.

Menurut Jolly (2017) pendidikan STEM memiliki tujuh alasan kuat untuk melibatkan peserta didik dalam pembelajaran ini. Pertama, STEM membantu peserta didik memahami konsep sains dan matematika secara mendalam melalui pembelajaran terapan dan berbasis masalah yang menghubungkan berbagai disiplin ilmu. Kedua, peserta didik dilatih untuk berpikir kritis, inovatif, dan membuat keputusan yang baik tanpa takut gagal, karena kesalahan dianggap sebagai bagian penting dari proses belajar. Ketiga, melalui proses desain rekayasa, peserta didik memahami cara mendekati dan menyelesaikan masalah secara sistematis dan kreatif. Keempat, STEM mengembangkan kesadaran sosial dan etika peserta didik melalui proyek yang menyelesaikan masalah nyata di masyarakat. Kelima, peserta didik belajar keterampilan kolaborasi yang penting untuk bekerja dalam tim secara efektif. Keenam, literasi teknologi peserta didik meningkat karena memanfaatkan berbagai alat dan teknologi untuk menciptakan solusi. Ketujuh, peserta didik menyadari peluang karir yang terbuka melalui pembelajaran STEM, membekali peserta didik dengan keterampilan yang relevan untuk menjadi tenaga kerja abad ke-21 yang kompeten dan inovatif. STEM

menjadi dasar penting untuk membangun generasi yang siap menghadapi tantangan masa depan.

d. Kelebihan dan Tantangan Implementasi STEM

Penelitian yang dilakukan oleh Gül et al. (2023) menunjukkan bahwa pendidikan STEM memiliki sejumlah keunggulan signifikan dalam konteks pendidikan dasar dan menengah. Berikut adalah beberapa keunggulan pendidikan STEM:

- 1) Pendidikan STEM meningkatkan prestasi belajar peserta didik melalui pendekatan lintas disiplin.
- 2) Pendidikan STEM memperkuat pemahaman konsep secara mendalam.
- 3) Pendidikan STEM mengembangkan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi.
- 4) Pendidikan STEM meningkatkan minat peserta didik terhadap karier di bidang STEM.
- 5) Pendidikan STEM memberikan paparan terhadap konsep dan aplikasi nyata dari sains, teknologi, teknik, dan matematika.
- 6) Pendidikan STEM membantu meningkatkan sikap positif peserta didik terhadap pembelajaran STEM.
- 7) Pendidikan STEM meningkatkan motivasi belajar peserta didik.

Ejiwale (2013) mengidentifikasi berbagai tantangan utama dalam implementasi pendidikan STEM yang efektif, yaitu:

- 1) Kurangnya guru STEM yang berkualifikasi dan minimnya investasi dalam pengembangan profesional guru.
- 2) Peserta didik kurang mendapatkan persiapan untuk mendalami bidang STEM.
- 3) Kesulitan sistem pendidikan dalam menghubungkan pembelajaran STEM dengan kebutuhan peserta didik.
- 4) Minimnya dukungan sekolah dan kurangnya kolaborasi lintas bidang STEM.
- 5) Lemahnya penyampaian konten, metode penilaian, dan media pembelajaran.
- 6) Fasilitas laboratorium yang buruk dan kurangnya pelatihan praktis bagi peserta didik.

Thibaut et al. (2018) mengungkapkan bahwa pembelajaran STEM terintegrasi umumnya didasarkan pada teori belajar konstruktivisme sosial. Teori konstruktivisme sosial menekankan bahwa pengetahuan tidak dapat ditransmisikan secara langsung, tetapi dikonstruksi secara aktif oleh peserta didik berdasarkan gagasan awal dan pengalaman peserta didik (Driver et al., 1994; Eastwell, 2002). Selain itu, aspek sosial dalam konstruktivisme sosial menyatakan bahwa pembelajaran adalah pengalaman bersama yang melibatkan interaksi dengan orang lain, bukan hanya proses individual (Prawat dan Floden, 1994).

Menurut Toma et al. (2024), pembelajaran STEM terintegrasi berakar pada teori konstruktivisme sosial yang mengacu pada gagasan utama Piaget (1964), Vygotsky (1978, 1986), Ausubel et al. (1982), dan Bruner (1961, 1966). Lebih lanjut dijelaskan, teori pembelajaran dari Piaget, Vygotsky, Ausubel, dan Bruner menekankan pentingnya proses aktif dalam membangun pengetahuan baru. Piaget menyoroti asimilasi dan akomodasi pengetahuan, sementara Vygotsky menggarisbawahi peran mediasi sosial, internalisasi simbol budaya, dan zona perkembangan proksimal (*Zone of Proximal Development*, ZPD). Ausubel memandang pembelajaran bermakna terjadi ketika pengetahuan baru dihubungkan dengan struktur kognitif yang ada, dengan peran aktif dan disposisi emosional peserta didik sebagai faktor pendukung. Bruner mengedepankan pembelajaran melalui penemuan yang dimulai dari masalah dunia nyata, melibatkan praktik ilmiah dan rekayasa, serta penggunaan *scaffolding* untuk mendukung pemahaman konseptual dan transfer pengetahuan ke situasi baru.

2.1.6 Project Based Learning

a. Definisi Project Based Learning

Project Based Learning adalah pedagogi konstruktivis yang dirancang untuk menghasilkan pemahaman mendalam dengan melibatkan peserta didik dalam isu-isu dan pertanyaan yang kompleks, autentik, serta relevan dengan topik yang dipelajari (Milentijevic et al., 2008). Thomas et al. (2000) mendefinisikan *Project Based Learning* sebagai model pembelajaran yang dirancang dengan mengorganisasi proses belajar di sekitar proyek. Proyek adalah tugas kompleks yang didasarkan pada pertanyaan atau masalah menantang, melibatkan peserta

didik dalam kegiatan seperti merancang, memecahkan masalah, mengambil keputusan, atau melakukan investigasi, memberikan kesempatan untuk bekerja mandiri dalam jangka waktu panjang, dan menghasilkan produk atau presentasi yang nyata (Jones et al., 1997; Mergendoller & Thomas, 2000).

b. Karakteristik *Project Based Learning*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Project Based Learning* secara khusus dapat mendorong kolaborasi, penggunaan artefak, alat teknologi, pendekatan berbasis masalah, dan praktik ilmiah tertentu seperti melakukan penelitian, mempresentasikan hasil, serta refleksi dalam pendidikan sains (Markula & Aksela, 2022). Menurut Krajcik & Shin (2014), *Project Based Learning* memiliki enam karakteristik sebagai berikut:

(1) *Driving Question* (Pertanyaan Pendorong)

Pertanyaan pendorong dalam *Project Based Learning* harus memiliki hubungan autentik dengan dunia nyata yang relevan dengan pengalaman peserta didik, seperti menggunakan isu-isu sosio-saintifik atau lingkungan belajar yang akrab. Pertanyaan ini bersifat terbuka dan mendorong eksplorasi mendalam.

(2) *Learning Goals* (Tujuan Pembelajaran)

Tujuan pembelajaran dalam *Project Based Learning* mencakup dua jenis, yaitu tujuan praktis dan tujuan yang mengacu pada perkembangan peserta didik. Selain itu, capaian pembelajaran juga ditekankan, baik oleh peserta didik maupun guru, untuk menunjukkan hasil belajar yang diraih selama proyek berlangsung.

(3) *Scientific Practices* (Praktik Ilmiah)

Praktik ilmiah dalam *Project Based Learning* melibatkan beberapa tahap, yaitu konseptualisasi (menyusun pertanyaan penelitian dan hipotesis), investigasi (eksplorasi, eksperimen, dan interpretasi data), penarikan kesimpulan, serta diskusi (komunikasi hasil dan refleksi)

(4) *Collaboration* (Kolaborasi)

Kolaborasi dalam *Project Based Learning* melibatkan interaksi antara peserta didik, guru, dan mitra dari luar sekolah. Hal ini bertujuan untuk menciptakan suasana kerja sama yang mendukung keberhasilan proyek.

(5) *Using Technological Tools* (Penggunaan Alat Teknologi)

Teknologi dalam *Project Based Learning* digunakan sebagai alat penelitian ilmiah maupun sebagai sarana untuk mendukung pembelajaran berbasis informasi dan komunikasi.

(6) *Creating an Artefact* (Pembuatan Artefak)

Peserta didik menghasilkan artefak sebagai hasil dari proyek, baik berupa artefak tunggal yang menjawab pertanyaan pendorong maupun artefak yang lebih besar yang mencakup artefak-artefak kecil dari berbagai aktivitas. Artefak ini menunjukkan tingkat pemahaman peserta didik terhadap topik yang dipelajari.

c. Langkah-langkah *Project Based Learning*

Model *Project Based Learning* memiliki langkah-langkah pembelajaran tertentu, yang dikenal sebagai sintak (Diana et al., 2021). Yu (2024) menyatakan bahwa proses pembelajaran dalam model *Project Based Learning* menggunakan empat tahap, yaitu (1) tahap penentuan tema proyek, (2) tahap pengembangan tema secara mandiri, (3) tahap optimalisasi hasil proyek, dan (4) tahap penyimpulan komprehensif dan penilaian. Melalui langkah-langkah tersebut, peserta didik dilatih untuk bekerja secara sistematis (Jalinus et al., 2017).

Langkah-langkah pembelajaran dalam *Project Based Learning* yang dikembangkan oleh *The George Lucas Educational Foundation* (2005) dalam Subandi et al. (2020) terdiri atas:

- (1) Penentuan Pertanyaan Mendasar (*Start With the Essential Question*)
- (2) Mendesain Perencanaan Proyek (*Design a Plan for the Project*)
- (3) Menyusun Jadwal (*Creates a Schedule*)
- (4) Memonitor Peserta Didik dan Kemajuan Proyek (*Monitor the Students and the Progress of the Project*)
- (5) Menguji Hasil (*Assess the Outcome*)
- (6) Mengevaluasi Pengalaman (*Evaluate the Experiences*)

Deskripsi langkah-langkah pembelajaran dalam *Project Based Learning* yang dikembangkan oleh *The George Lucas Educational Foundation* disajikan dalam tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Deskripsi Sintak Pembelajaran *Project-Based Learning*

Sintak Pembelajaran	Deskripsi
Penentuan pertanyaan mendasar	Pembelajaran diawali dengan pertanyaan esensial yang bersifat terbuka, menantang, dan mendorong peserta didik melakukan investigasi mendalam terhadap topik nyata yang relevan dengan kehidupan, sehingga merangsang keterampilan berpikir tingkat tinggi dan mengarahkan pada pembuatan proyek.
Mendesain perencanaan proyek	Peserta didik bersama guru menyusun perencanaan proyek secara kolaboratif agar merasa memiliki proyek tersebut, dengan menentukan aturan, memilih kegiatan pendukung, mengintegrasikan materi, serta mengidentifikasi alat dan bahan yang tersedia untuk menyelesaikan proyek.
Menyusun jadwal	Peserta didik bersama guru menyusun jadwal penyelesaian proyek secara kolaboratif, termasuk menentukan batas waktu, merancang langkah kerja yang relevan, serta memberikan alasan pemilihan waktu, agar pelaksanaan dan kemajuan proyek dapat dimonitor secara efektif.
Memonitor peserta didik dan kemajuan proyek	Guru berperan sebagai fasilitator dan mentor yang memantau aktivitas peserta didik selama pengerjaan proyek, dengan bantuan rubrik penilaian untuk mencatat setiap perkembangan penting dalam proses pembelajaran.
Menguji hasil	Penilaian hasil dilakukan untuk mengetahui sejauh mana peserta didik mencapai kompetensi, menilai perkembangan individu, memberikan umpan balik atas pemahaman yang telah dicapai, serta menjadi dasar guru dalam merancang pembelajaran selanjutnya.
Mengevaluasi pengalaman	Pada akhir pembelajaran, peserta didik melakukan refleksi bersama guru terhadap proses dan hasil proyek, baik secara individu maupun kelompok, dengan mengungkapkan pengalaman dan perasaan selama kegiatan. Refleksi ini bertujuan untuk memperbaiki kinerja dan menemukan ide atau solusi baru atas masalah yang telah dikaji di awal pembelajaran.

Sumber: Kemdikbud (2014)

d. Kelebihan dan Kekurangan *Project Based Learning*

Menurut Yu (2024) *Project Based Learning* menawarkan berbagai keunggulan yang mendukung pembelajaran peserta didik secara holistik, yaitu:

- 1) Dirancang sesuai dengan cara berpikir dan kebutuhan psikologis peserta didik, sehingga meningkatkan efisiensi pembelajaran dan kreativitas.
- 2) Mendorong inisiatif dan antusiasme peserta didik melalui tugas-tugas menantang yang mendukung pemecahan masalah dan kerja tim.
- 3) Bimbingan tepat waktu yang membantu peserta didik mengatasi hambatan, memperluas wawasan, dan meningkatkan kemampuan berpikir kritis serta inovatif.
- 4) Menciptakan pengalaman belajar yang positif dengan menggabungkan faktor intelektual dan emosional, sehingga meningkatkan motivasi, kepercayaan diri, dan pemikiran kreatif peserta didik.

Menurut Purwanti et al. (2022), *Project Based Learning* memiliki sejumlah keunggulan dalam pembelajaran, antara lain: (1) meningkatkan motivasi peserta didik untuk belajar sehingga mendorong pengembangan keterampilan dalam menyelesaikan tugas-tugas penting; (2) meningkatkan keterlibatan peserta didik untuk mengasah kemampuan peserta didik dalam memecahkan masalah yang kompleks; (3) menerapkan prinsip ergonomis, higienis, presisi, cepat, ekosistem, dan metakognitif dalam pengelolaan media dan bahan untuk karya seni serta teknologi; dan (4) menghasilkan karya yang siap digunakan dan dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

Menurut Noorhalida et al. (2023), model *Project Based Learning* memiliki tantangan yang perlu diperhatikan, baik oleh guru maupun peneliti, yaitu:

- 1) Pengelolaan waktu yang lebih lama dibandingkan model pembelajaran lain, sehingga membutuhkan perencanaan jadwal yang efisien.
- 2) Kesulitan mengelola kelas, terutama dalam menjaga fokus dan keterlibatan aktif peserta didik selama proyek.
- 3) Pentingnya bimbingan dan umpan balik guru, karena kebebasan yang terlalu besar dapat mengurangi efektivitas pembelajaran.
- 4) Keterbatasan dalam integrasi alat teknologi sebagai pendukung pembelajaran.
- 5) Kesulitan merancang penilaian yang dapat mengukur pemahaman peserta didik secara menyeluruh.

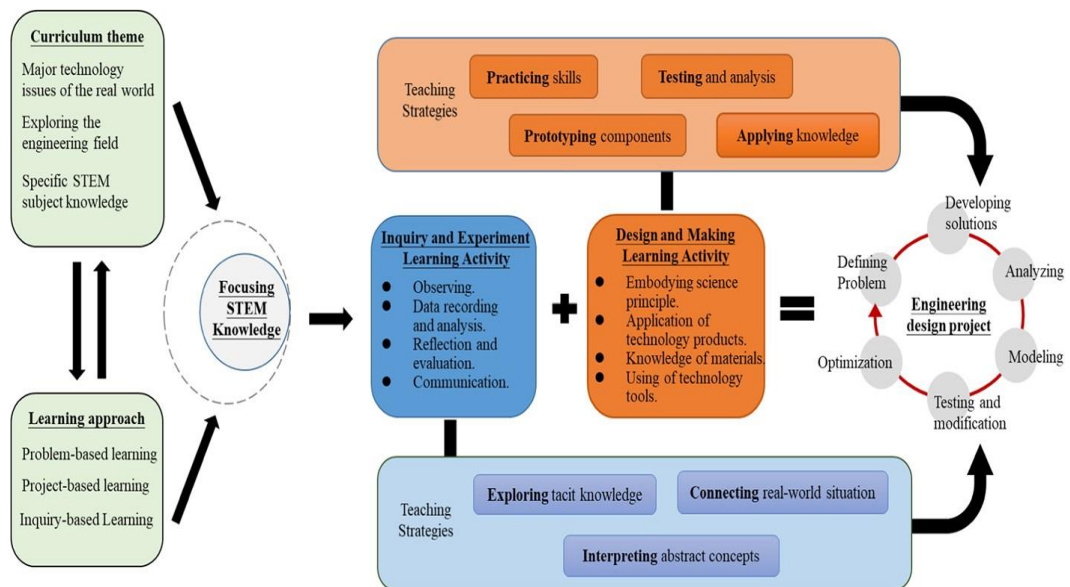
- 6) Kendala dalam penyediaan biaya, peralatan, dan monitoring peserta didik selama pengerjaan proyek.

Model *Project Based Learning* sejalan dengan filosofi konstruktivisme, karena menempatkan peserta didik sebagai pusat dalam proses pembelajaran (Grant, 2002). Konstruktivisme merupakan teori pembelajaran yang menuntut peserta didik untuk membangun pemahaman secara mandiri melalui serangkaian aktivitas, dengan pendekatan yang mendorong peserta didik membandingkan informasi daripada sekadar menerima pengetahuan dari guru, sehingga menjadikan pembelajaran yang berpusat pada peserta didik sebagai ciri khasnya (Diana et al., 2021). *Project Based Learning* merupakan bentuk pengajaran yang berpusat pada peserta didik, mengacu pada tiga prinsip utama konstruktivisme, yaitu pembelajaran dilakukan dalam konteks tertentu, peserta didik berperan aktif selama proses pembelajaran, dan tujuan pembelajaran dicapai melalui interaksi sosial serta pertukaran pengetahuan dan pemahaman (Kokotsaki et al., 2016).

2.1.7 Integrasi Proses Desain Rekayasa dalam STEM

Integrasi proses desain rekayasa dalam STEM merupakan mode pedagogis yang menempatkan pengetahuan sains dan matematika dalam konteks desain teknologi untuk membangun lingkungan belajar berbasis pemecahan masalah, di mana peserta didik merancang solusi, mengumpulkan informasi, dan menyelesaikan masalah nyata melalui tahapan proses desain rekayasa (Lin et al., 2021). Proses desain rekayasa dalam konteks pendidikan STEM menuntut peserta didik mengikuti langkah-langkah tertentu untuk menghasilkan solusi paling efektif yang diuji secara berulang dan didukung oleh konsep-konsep matematika dan sains (Mohd-Hafiz & Ayop, 2019). Ciri utama dari kegiatan pembelajaran yang berfokus pada proses desain rekayasa adalah penerapannya melalui konteks dunia nyata, integrasi pengetahuan lintas disiplin ke dalam desain rekayasa, serta pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi (Tipmontiane & Williams, 2021). Integrasi proses desain rekayasa dalam STEM pada pembelajaran energi terbarukan dapat meningkatkan *system thinking*, mengembangkan kemampuan desain berbasis teknologi terapan, serta memanfaatkan peralatan sederhana untuk menciptakan pembelajaran yang lebih bermakna (Abdurrahman et al., 2023).

Integrasi proses desain rekayasa dalam STEM bertujuan untuk membantu peserta didik memahami konsep inti dari setiap mata pelajaran serta mengembangkan kemampuan menerapkan pengetahuan terkait dalam situasi kehidupan nyata melalui integrasi berbagai jenis pengetahuan dan metode penyelidikan (Drake, 2012; Fogarty, 1991). Fan et al. (2020) telah merancang kerangka kerja untuk mengimplementasikan kurikulum STEM yang berorientasi pada desain rekayasa berdasarkan karakteristik berbagai kurikulum STEM, yaitu: (1) tema penelitian yang berfokus pada situasi dunia nyata, (2) pendekatan pembelajaran yang berpusat pada proyek, pemecahan masalah, dan investigasi, (3) pembentukan pengalaman belajar kooperatif yang berpusat pada peserta didik, (4) demonstrasi integrasi dan penerapan pengetahuan mata pelajaran terkait STEM melalui proses desain rekayasa, serta (5) pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui berbagai strategi. Kerangka kerja implementasi kurikulum STEM ditampilkan dalam Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Kerangka Kerja Implementasi Kurikulum STEM yang Berorientasi pada Desain Rekayasa
Sumber: Fan et al. (2020)

Fan et al. (2020) mengungkapkan bahwa sebagian besar kurikulum STEM berlandaskan pada perspektif konstruktivis, teori pembelajaran berbasis konteks, dan psikologi kognitif, dengan penekanan pada pembelajaran yang berpusat pada

peserta didik serta pendekatan "belajar sambil melakukan." Tema kurikulum ini sering kali berfokus pada isu teknologi global yang signifikan atau masalah dunia nyata, seperti pembangunan berkelanjutan, dengan mengintegrasikan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu untuk mencari solusi. Selain itu, aplikasi teknologi dalam bidang teknik tertentu menjadi fokus umum beberapa program STEM, membantu peserta didik memahami lanskap dan perkembangan disiplin rekayasa. Beberapa program juga menekankan desain kurikulum yang terutama berbasis pada konsep ilmiah dan matematis, dengan fokus sekunder pada desain rekayasa, guna mengajarkan pengetahuan konseptual yang lebih menantang di bidang sains dibandingkan rekayasa.

Model pembelajaran yang diterapkan dalam kurikulum STEM dapat disesuaikan dengan prinsip pembelajaran berbasis proyek, berbasis masalah, atau berbasis investigasi (Fan et al., 2020). Pembelajaran berbasis proyek berlandaskan pada perspektif konstruktivisme, teori pembelajaran berbasis konteks, dan psikologi kognitif, dengan menekankan pentingnya membimbing peserta didik melalui proses penyelidikan, konstruksi pengetahuan, pemecahan masalah, dan penyampaian hasil proyek melalui "belajar sambil melakukan" (Thomas, 2000). Desain kurikulum berbasis proyek bertujuan mengajarkan peserta didik untuk menerapkan proses, keterampilan, dan pengetahuan desain rekayasa untuk mencapai tujuan proyek, sambil memfokuskan pada penerapan pengetahuan matematika dan sains untuk meningkatkan kinerja desain peserta didik (Burghardt & Hacker, 2004; Kertil & Gurel, 2016).

Menentukan cakupan pengetahuan dalam kurikulum STEM adalah proses yang menantang, karena standar yang terlalu berlebihan dapat membingungkan guru dan membuat indikator kompetensi teoretis terlepas dari konten atau menjadi formalitas belaka (Asunda & Hill, 2017). Dixon & Brown (2012) menekankan bahwa tanpa instruksi jelas tentang penerapan pengetahuan sains dan matematika dalam memecahkan masalah rekayasa, peserta didik tidak dapat mengembangkan keterampilan metakognitif atau mentransfer pengetahuan yang telah dipelajari, sehingga tujuan pembelajaran dan penilaian menjadi tidak efektif. Guru dapat menentukan fokus pengetahuan yang tepat sebelum mengimplementasikan

kurikulum STEM dengan menyusun daftar pengetahuan berbasis tema proyek, menyempitkan cakupan sesuai kompetensi peserta didik dan standar kurikulum, mensimulasikan kemajuan proyek untuk mengidentifikasi tahap desain rekayasa yang sulit, serta merancang aktivitas pembelajaran atau strategi pendukung yang relevan berdasarkan kebutuhan proses belajar (Fan et al., 2020).

Untuk membantu peserta didik menghubungkan pengetahuan konseptual dengan keterampilan praktis, guru perlu merancang pengalaman belajar yang bermakna dan logis dalam kegiatan desain rekayasa, sehingga peserta didik dapat memahami, memperjelas, dan memperkuat hubungan antara sains, teknologi, rekayasa, dan matematika, serta mengaitkannya dengan tema kurikulum (Stohlmann et al., 2012). Kunci dalam merancang kegiatan pembelajaran adalah mengorganisasi aktivitas yang efektif berdasarkan pengetahuan ilmiah dan matematis yang penting serta kompetensi inti dalam desain rekayasa (Burghardt & Hacker, 2004). Kegiatan dalam kurikulum STEM dapat dilakukan melalui model "penyelidikan (*inquiry*) dan eksperimen (*experiment*)" serta "desain (*design*) dan pembuatan (*making*)," yang mengubah pengetahuan abstrak menjadi aktivitas nyata sehingga peserta didik dapat mempelajari strategi desain rekayasa dan pemecahan masalah dengan cara yang terstruktur (Fan et al., 2020).

Kegiatan berbasis konsep "penyelidikan dan eksperimen" berfokus pada eksplorasi atau validasi prinsip ilmiah, penerapannya, serta analisis matematis untuk membantu peserta didik memahami pengetahuan konseptual terkait tema kurikulum melalui perhitungan, prediksi, dan eksperimen ilmiah. Dari perspektif desain rekayasa, kegiatan ini meningkatkan keterampilan observasi dan analisis peserta didik dengan mengevaluasi efektivitas penerapan prinsip ilmiah pada praktik rekayasa melalui proses investigasi berbasis data. Kegiatan ini juga melatih keterampilan penting seperti identifikasi masalah, pencatatan dan analisis data, evaluasi pengetahuan konseptual, serta komunikasi berbasis data untuk mendukung proses desain rekayasa yang optimal (Fan et al., 2020).

Kegiatan "desain dan pembuatan" berfokus pada penerapan teknologi perangkat lunak dan keras serta pelatihan keterampilan praktis. Tujuannya adalah membantu peserta didik menerapkan keterampilan praktis, mewujudkan prinsip

ilmiah abstrak dan konsep desain, serta menggunakannya untuk menghasilkan solusi desain. Kegiatan ini memperkuat pengetahuan dasar peserta didik, seperti pemahaman material, penggunaan alat, pembuatan model, serta perbaikan masalah selama pengujian untuk mendukung pengembangan solusi, pemodelan, dan modifikasi dalam proses desain rekayasa (Fan et al., 2020).

Kegiatan pembelajaran dirancang untuk membantu peserta didik secara bertahap menguasai pengetahuan dan pengalaman melalui pembelajaran sistematis, dengan menyusun aktivitas sains dan rekayasa secara terstruktur untuk mendukung pengembangan konsep ilmiah melalui desain rekayasa (Guzey et al., 2019). Menurut Stohlmann et al. (2012), strategi pengajaran dalam kurikulum STEM harus membimbing peserta didik dalam bertanya dan berhipotesis, menekankan pembenaran pemikiran peserta didik, memahami pola secara menyeluruh, serta mengintegrasikan penilaian untuk meningkatkan pemahaman pengetahuan dan kelayakan solusi peserta didik. Pembelajaran STEM tidak hanya bergantung pada desain kurikulum, tetapi juga pada bimbingan strategi instruksional guru yang menghubungkan pengetahuan akademik dengan masalah proyek melalui siklus pembelajaran 6E (*engage, explore, explain, engineer, enrich, evaluate*) atau proses seperti "eksplorasi," "pemahaman ide," "penerapan ide," "pengembangan ide," dan "penilaian" (B. N. Bruke, 2014; Satchwell & Loepp, 2002).

2.1.8 Deskripsi Materi Sel Galvanik

a. Pengertian dan Prinsip Kerja Sel Galvanik

Peralatan untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan reaksi redoks spontan disebut sel galvanik atau sel Volta, diambil dari nama ilmuwan Italia, Luigi Galvani dan Alessandro Volta, yang membuat versi awal dari alat ini (Chang, 2003). Sel galvanik terdiri atas tiga komponen utama: (1) anoda, yaitu elektroda negatif, (2) katoda, yaitu elektroda positif, dan (3) penghantar ion atau elektrolit yang berfungsi memisahkan kedua elektroda (Reddy, 2011). Prinsip kerja sel Volta adalah mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi redoks, di mana elektron mengalir dari anoda ke katoda (Agnes et al., 2024).

Menurut penelitian Eggen & Skaugrud (2015), sel galvanik dapat dibuat menggunakan bahan yang sangat sederhana dan murah, sehingga peserta didik memiliki kesempatan untuk mencoba beberapa kali jika mengalami kesulitan dalam merakitnya dengan benar. Kondisi ini juga memberikan waktu bagi guru untuk mendiskusikan fungsi dari komponen baterai. Hasil penelitian tersebut juga merekomendasikan agar peserta didik diberi kebebasan untuk menemukan cara merakit baterai sendiri, alih-alih diberikan instruksi yang terlalu rinci.

Lebih lanjut dijelaskan, bahwa terdapat peringatan menambahkan lebih dari satu tetes air dapat menyebabkan baterai menjadi tidak berfungsi dengan baik. Sel baterai pada penelitian tersebut, anoda menggunakan magnesium yang bereaksi secara spontan dengan air. Dengan penambahan satu tetes air, tegangan yang dihasilkan biasanya berkisar antara 2,0 hingga 2,1 V, cukup untuk menyalakan lampu LED (*Light Emitting Diode*) warna merah, tetapi mungkin terlalu rendah untuk LED dengan warna lain. Oleh karena itu, disarankan menggunakan LED merah dalam eksperimen. Pada tingkat pembelajaran dasar, hanya reaksi utama sel, yaitu reduksi ion tembaga, yang perlu dibahas. Sedangkan pada tingkat lanjut, reaksi lain yang bersifat menantang dapat menjadi bahan diskusi lebih lanjut.

b. Miskonsepsi dalam Konsep Sel Elektrokimia

Elektrokimia adalah topik penting, tetapi peserta didik sering mengalami kesulitan dalam memahami konsepnya, seperti pergerakan elektron dan ion, tanda muatan pada anoda dan katoda, serta fungsi larutan elektrolit dalam sel galvanik (Jakubowska, 2016). Beberapa miskonsepsi yang berhasil diidentifikasi terkait konsep sel elektrokimia antara lain, arus listrik sering dianggap melibatkan pergerakan elektron, bahkan di dalam larutan dan melalui jembatan garam. Dalam sel elektrokimia, anion dan kation bergerak hingga konsentrasi di kedua setengah sel mencapai keseimbangan atau hingga salah satu setengah sel bermuatan sangat negatif sementara yang lain bermuatan sangat positif. Selain itu, banyak peserta didik salah mengartikan elektroda negatif sebagai elektroda yang bermuatan negatif. Secara umum, peserta didik kurang memahami arti tanda pada anoda dan katoda serta perubahan tanda tersebut saat sel elektrokimia berubah menjadi sel elektrolisis (Cullen & Pentecost, 2011).

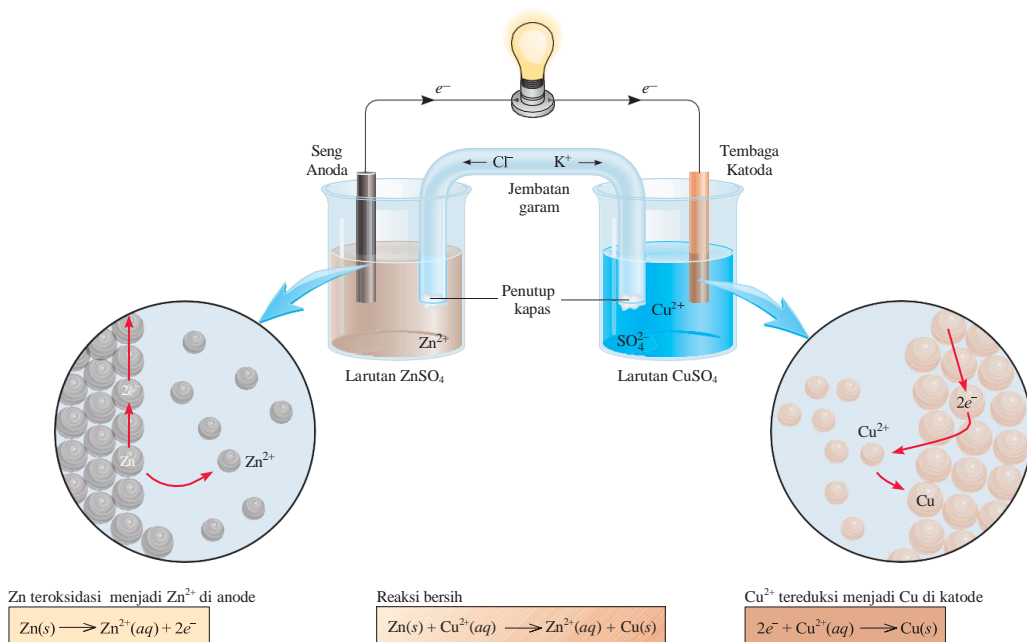
c. Reaksi Redoks dalam Sel Galvanik

Lemishko & Lemishko (2017) telah menyelidiki kemungkinan menghasilkan energi listrik dari sel elektrokimia yang dapat diwujudkan dengan menggunakan dua elektroda logam, yaitu elektroda aktif (tembaga) dan elektroda inert (platina), serta larutan elektrolit yang mengandung ion logam aktif dalam bentuk teroksidasi (Cu^{2+}). Karena tembaga bersifat inert terhadap air, reaksi samping dalam larutan tidak menjadi faktor yang signifikan. Untuk sel Daniell, reaksi-reaksi setengah-sel, yaitu, reaksi oksidasi dan reduksi pada masing-masing elektroda, ialah:

Elektroda Pt (katoda) : $\text{Cu}^{2+} + e^- \rightarrow \text{Cu}^+$, $E^0 = +0,155 \text{ V}$

Elektroda Cu (anoda) : $3\text{Cu}^+ - e^- \rightarrow \text{Cu} + 2\text{Cu}^{2+}$, $E^0 = +0,207 \text{ V}$

Sel dihubungkan dengan rangkaian eksternal menyebabkan ion Cu^+ pada permukaan elektroda tembaga teroksidasi menjadi Cu^{2+} , sementara pada elektroda platina, ion Cu^{2+} mengalami reduksi menjadi Cu^+ , reaksi bersihnya: $2\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu} + \text{Cu}^{2+}$.



Gambar 2.4 Sebuah Sel Galvanik

Sumber: Chang (2010)

Chang (2010) menyatakan bahwa sebatang seng dicelupkan ke dalam larutan ZnSO_4 , sebatang tembaga dalam larutan CuSO_4 , maka terjadi oksidasi Zn menjadi

Zn^{2+} dan reduksi Cu^{2+} menjadi Cu, ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Reaksi tersebut dapat dibuat berlangsung serentak dalam lokasi-lokasi yang terpisah di mana transfer elektron antara lokasi-lokasi tersebut terjadi melalui sebuah kawat eksternal. Batang seng dan tembaga disebut elektroda. Susunan elektroda (Zn dan Cu) dan larutan (ZnSO_4 dan CuSO_4) disebut sel Daniell. Anoda dalam sel Galvanik adalah elektroda tempat terjadinya oksidasi dan katoda ialah tempat terjadinya reduksi.

Penulisan untuk sel Daniell, reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi dan reduksi di elektroda, adalah sebagai berikut:



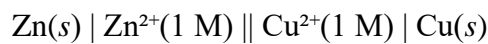
Perlu diperhatikan bahwa jika kedua larutan tidak dipisahkan satu sama lain, ion Cu^{2+} akan bereaksi langsung dengan batang seng dan tidak akan diperoleh kerja listrik yang berguna: $\text{Cu}^{2+}(aq) + \text{Zn}(s) \rightarrow \text{Cu}(s) + \text{Zn}^{2+}(aq)$.

Rangkaian listrik supaya lengkap, larutan-larutan tersebut harus dihubungkan oleh media penghantar, yang memungkinkan kation dan anion bergerak dari satu ruang elektrode ke ruang elektrode lainnya. Persyaratan ini dipenuhi dengan menggunakan jembatan garam, yang dalam bentuk paling sederhana adalah tabung berbentuk U terbalik yang berisi larutan elektrolit inert, seperti KCl, yang ion-ionnya tidak bereaksi dengan ion lain dalam larutan atau dengan elektroda. Selama reaksi redoks berlangsung, elektron mengalir secara eksternal dari anoda (elektroda Zn) melalui kabel menuju katoda (elektroda Cu). Dalam larutan, kation (Zn^{2+} , Cu^{2+} , dan K^+) bergerak menuju katoda, sementara anion (SO_4^{2-} dan Cl^-) bergerak menuju anoda.

Tanpa jembatan garam yang menghubungkan kedua larutan, penumpukan muatan positif di ruang anoda (karena pembentukan ion Zn^{2+}) dan muatan negatif di ruang katoda (akibat reduksi beberapa ion Cu^{2+} menjadi Cu) akan dengan cepat menghentikan operasi sel. Arus listrik mengalir dari anoda ke katoda karena adanya perbedaan energi potensial listrik antara kedua elektroda. Aliran listrik ini serupa dengan aliran air di air terjun, yang terjadi karena adanya perbedaan energi potensial gravitasi, atau aliran gas dari daerah tekanan tinggi ke tekanan rendah.

Secara eksperimental, perbedaan potensial listrik antara anoda dan katoda diukur dengan voltmeter. Tegangan antara elektroda pada sel galvanik disebut tegangan sel atau potensial sel. Istilah lain yang sering digunakan untuk tegangan sel adalah gaya gerak listrik (*emf*) atau E , yang meskipun namanya demikian, merupakan ukuran tegangan, bukan gaya. Tegangan sel bergantung pada jenis elektroda dan ion, serta konsentrasi ion dan suhu operasi sel.

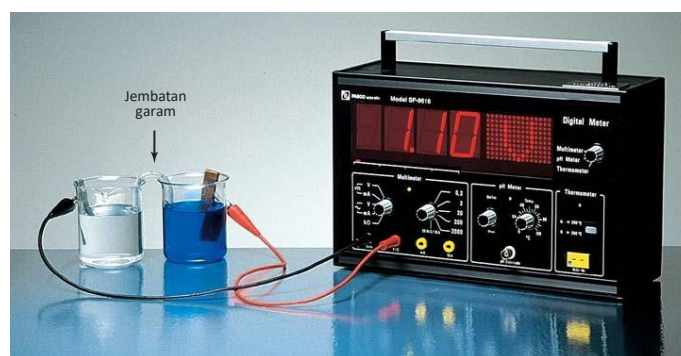
Notasi konvensional untuk merepresentasikan sel galvanik adalah diagram sel. Untuk sel Daniell yang ditunjukkan pada Gambar 2, jika konsentrasi ion Zn^{2+} dan Cu^{2+} diasumsikan 1 M, diagram selnya adalah:



Satu garis vertikal tunggal menunjukkan batas fase. Misalnya, elektroda seng adalah padatan, sedangkan ion Zn^{2+} (dari ZnSO_4) berada dalam larutan, sehingga digambar garis di antara Zn dan Zn^{2+} untuk menunjukkan batas fase. Dua garis vertikal menunjukkan jembatan garam. Berdasarkan konvensi, anoda ditulis pertama, di sebelah kiri garis ganda, dan komponen lainnya muncul sesuai urutan dari anoda ke katoda.

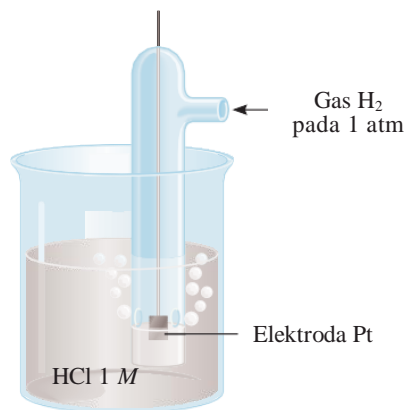
d. Potensial Reduksi Standar dan Penghitungan

Chang (2010) mengemukakan, ketika konsentrasi ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} keduanya 1,0 M, tegangan atau *emf* dari sel Daniell adalah 1,10 V pada suhu 25°C, seperti ditunjukkan Gambar 2.5. Tegangan ini harus berhubungan langsung dengan reaksi redoks. Sama seperti reaksi sel keseluruhan yang dapat dianggap sebagai jumlah dari dua reaksi setengah sel, *emf* yang terukur dari sel dapat diperlakukan sebagai jumlah dari potensial listrik pada elektroda Zn dan Cu.



Gambar 2.5 Perangkat Praktis Sel Daniell
Sumber: Chang (2010)

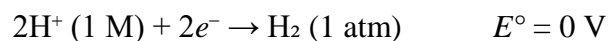
Jika salah satu dari potensial elektroda ini sudah diketahui, maka potensial elektroda lainnya dapat diperoleh dengan pengurangan (dari 1,10 V). Tidak mungkin mengukur potensial hanya dari satu elektroda, tetapi jika menetapkan nilai potensial untuk elektroda tertentu sebagai nol, hal tersebut dapat digunakan untuk menentukan potensial relatif elektroda lainnya. Elektroda hidrogen, yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, berfungsi sebagai referensi untuk tujuan tersebut.



Gambar 2.6 Elektroda Hidrogen Bekerja pada Kondisi Standar

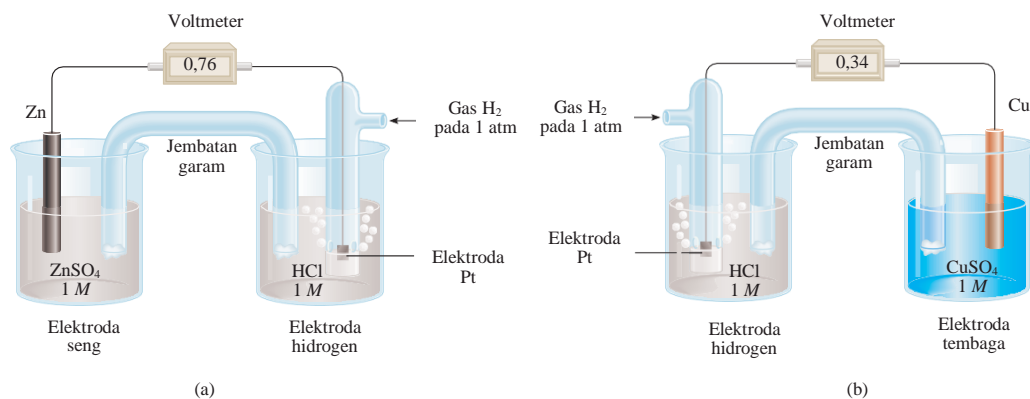
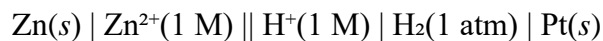
Sumber: Chang (2010)

Gas hidrogen dibuihkan ke dalam larutan asam klorida pada suhu 25°C. Elektroda platina memiliki dua fungsi, pertama menyediakan permukaan tempat disosiasi molekul hidrogen dapat terjadi: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2e^-$, kedua, berfungsi sebagai penghantar listrik ke rangkaian eksternal. Dalam kondisi standar, ketika tekanan H_2 adalah 1 atm dan konsentrasi larutan HCl adalah 1 M, potensial untuk reduksi H^+ pada suhu 25°C dianggap tepat nol:



Superskrip "°" menunjukkan kondisi standar, dan E° adalah potensial reduksi standar, atau tegangan yang terkait dengan reaksi reduksi pada elektroda ketika semua zat terlarut adalah 1 M dan semua gas berada pada tekanan 1 atm. Dengan demikian, potensial reduksi standar dari elektroda hidrogen ditetapkan nol. Elektroda hidrogen ini disebut elektroda hidrogen standar (SHE, *standard hydrogen electrode*).

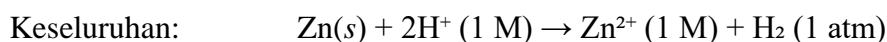
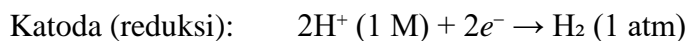
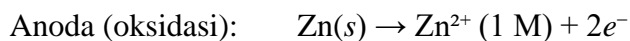
SHE dapat digunakan untuk mengukur potensial elektroda jenis lain. Sebagai contoh, Gambar 2.7 menunjukkan sebuah sel galvanik dengan elektroda seng dan SHE. Dalam hal ini, elektroda seng adalah anoda dan SHE adalah katoda. Kita dapat menyimpulkan hal ini dari berkurangnya massa elektroda seng selama operasi sel, yang konsisten dengan hilangnya seng ke dalam larutan yang disebabkan oleh reaksi oksidasi: $\text{Zn}(s) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(aq) + 2e^-$. Diagram selnya adalah:



Gambar 2.7 (a) Sel Zn-SHE, (b) Sel Cu-SHE

Sumber: Chang (2010)

Seperti yang disebutkan sebelumnya, elektroda Pt menyediakan permukaan tempat reduksi terjadi. Ketika semua reaktan berada dalam keadaan standar (yaitu, H_2 pada 1 atm, H^+ dan ion Zn pada 1 M), emf sel adalah 0,76 V pada suhu 25°C , reaksi setengah sel dapat dituliskan sebagai berikut:



Menurut konvensi, emf standar sel, E_{sel}^0 , yang terdiri dari kontribusi dari anoda dan kontribusi dari katoda, diberikan oleh:

$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{katoda}}^0 - E_{\text{anoda}}^0$$

di mana E_{katoda}^0 dan E_{anoda}^0 adalah potensial reduksi standar dari elektroda-elektroda tersebut. Untuk sel Zn-SHE, ditulis:

$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^0 - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0$$

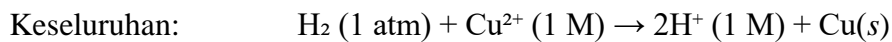
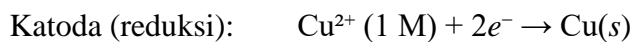
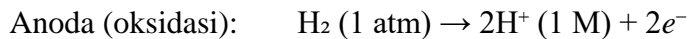
$$0,76 \text{ V} = 0 - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0$$

di mana subskrip H^+/H_2 berarti $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$, sedangkan subskrip Zn^{2+}/Zn berarti $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$. Dengan demikian, potensial reduksi standar seng, $E_{Zn^{2+}/Zn}^0$, adalah -0,76 V.

Potensial elektroda standar tembaga dapat diperoleh dengan cara yang serupa, menggunakan sel dengan elektroda tembaga dan SHE (Gambar 5). Dalam hal ini, elektroda tembaga adalah katoda karena massanya bertambah selama operasi sel, yang konsisten dengan reaksi reduksi: $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$. Diagram selnya adalah:



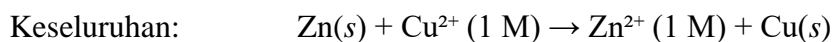
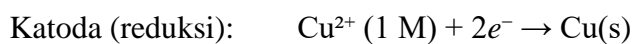
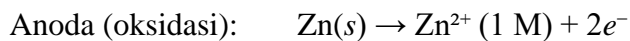
dan reaksi setengah selnya adalah:



Di bawah kondisi standar dan pada suhu 25°C, emf sel adalah 0,34 V, sehingga dapat ditulis:

$$\begin{aligned} E_{\text{sel}}^0 &= E_{\text{katoda}}^0 - E_{\text{anoda}}^0 \\ 0,34 \text{ V} &= E_{Cu^{2+}/Cu}^0 - E_{H^+/H_2}^0 \\ &= E_{Cu^{2+}/Cu}^0 - 0 \end{aligned}$$

Dalam hal ini, potensial reduksi standar tembaga, $E_{Cu^{2+}/Cu}^0$, adalah 0,34 V, di mana subskrip berarti $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$. Untuk sel Daniell yang ditunjukkan dalam Gambar 2, dapat ditulis:



Emf sel adalah:

$$\begin{aligned} E_{\text{sel}}^0 &= E_{\text{katoda}}^0 - E_{\text{anoda}}^0 \\ &= E_{Cu^{2+}/Cu}^0 - E_{Zn^{2+}/Zn}^0 \\ &= 0,34 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) \\ &= 1,10 \text{ V} \end{aligned}$$

Potensial reduksi standar pada 25°C [1 M] beberapa zat yang lazim ditampilkan dalam Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2.8 Potensial Reduksi Standar pada 25°C [1 M] Beberapa Zat yang Lazim

↑	Setengah Reaksi	E^0 (V)	↓
Kekuatan sebagai oksidator meningkat	$\text{Ag}^+(aq) + e^- \rightarrow \text{Ag}(s)$	+0,80	Kekuatan sebagai reduktor meningkat
	$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow \text{Cu}(s)$	+0,34	
	$2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(g)$	0,00	
	$\text{Fe}^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow \text{Fe}(s)$	-0,44	
	$\text{Zn}^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow \text{Zn}(s)$	-0,76	
	$\text{Al}^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow \text{Al}(s)$	-1,66	

Sumber: Chang, (2010)

e. Aplikasi Sel Galvanik dalam Kehidupan Sehari-hari

Baterai adalah sel galvanik, atau beberapa sel galvanik yang disatukan, yang dapat digunakan sebagai sumber arus listrik searah pada voltase tetap (Chang, 2010). Lebih lanjut dikatakan bahwa meskipun cara kerja baterai pada dasarnya sama dengan sel galvanik, namun baterai memiliki keunggulan karena sifatnya yang berdiri sendiri dan tidak memerlukan kompoten tambahan seperti jembatan garam.

Parkes et al. (2016) mengungkapkan bahwa baterai merupakan teknologi penyimpanan energi yang penting, dan pemahaman mengenai cara kerjanya oleh generasi mendatang sangat diperlukan untuk mendukung pengembangan teknologi baru. Baterai beroperasi melalui reaksi redoks yang terkendali dari materialnya. Secara umum, baterai terdiri atas empat komponen utama, yaitu:

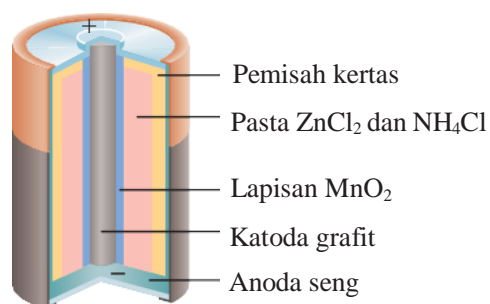
- (2) Anoda (elektroda negatif): Tempat terjadinya oksidasi dan menghasilkan elektron.
- (3) Katoda (elektroda positif): Tempat terjadinya reduksi. Elektron mengalir melalui rangkaian eksternal menuju katoda, di mana elektron tersebut mereduksi spesies netral atau bermuatan positif, seperti molekul atau kation.
- (4) Elektrolit: Penghantar ionik yang menghubungkan kedua elektroda sehingga rangkaian menjadi lengkap.

- (5) Separator: Penghalang yang mencegah kontak langsung antara anoda dan katoda, sekaligus berfungsi sebagai isolator listrik. Separator bersifat berpori sehingga memungkinkan ion dalam elektrolit melewatinya.

Kinerja baterai diukur berdasarkan tegangan dan arus yang dihasilkannya. Tegangan merupakan besaran termodinamika yang ditentukan oleh reaksi kimia di dalamnya, sedangkan arus bergantung pada laju reaksi kimia, hambatan internal baterai, dan bahan yang digunakan dalam konstruksinya, yang semuanya dapat dimodifikasi melalui desain.

1) Baterai Sel Kering

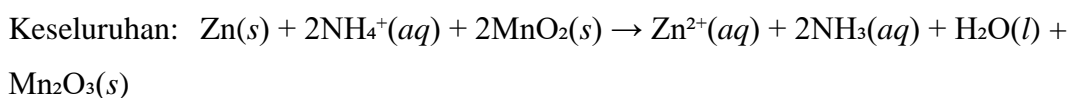
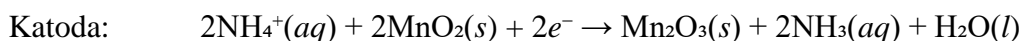
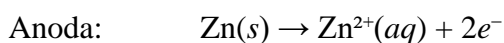
Chang (2010) mengungkapkan bahwa sel kering yang paling umum, yaitu sel tanpa komponen cair, adalah sel Leclanché yang digunakan pada senter dan radio transistor. Anoda pada sel ini terdiri dari wadah atau kaleng seng yang bersentuhan dengan mangan dioksida (MnO_2) dan elektrolit. Elektrolitnya terdiri dari amonium klorida dan seng klorida dalam air, yang dicampur dengan pati untuk mengentalkan larutan sehingga berbentuk seperti pasta dan mengurangi kemungkinan kebocoran seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8. Bagian Dalam Sel Kering

Sumber: Chang (2010)

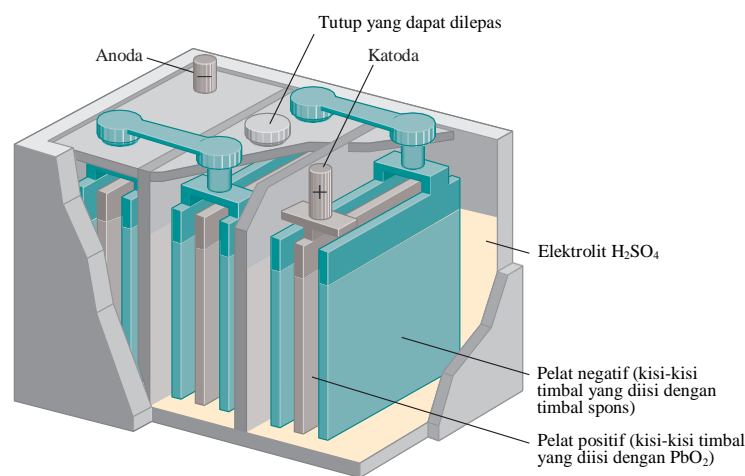
Sebagai katoda, digunakan batang karbon yang dicelupkan ke dalam elektrolit di bagian tengah sel. Reaksi pada sel ini adalah:



Persamaan ini sebenarnya adalah penyederhanaan dari proses yang lebih kompleks. Sel kering ini menghasilkan tegangan sekira 1,5 V.

2) Baterai Bertimbal (Aki)

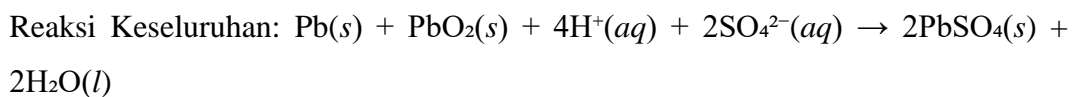
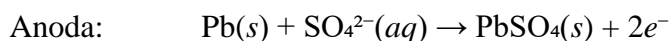
Chang (2010) mengemukakan bahwa baterai timbal-asam yang umum digunakan pada mobil terdiri dari enam sel identik yang disusun secara seri. Setiap sel memiliki anoda timbal (Pb) dan katoda yang terbuat dari timbal dioksida (PbO₂) yang dipadatkan pada pelat logam seperti ditunjukkan Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9. Bagian Dalam Aki

Sumber: Chang (2010)

Baik katoda maupun anoda direndam dalam larutan asam sulfat (H₂SO₄) yang berfungsi sebagai elektrolit. Reaksi dalam sel tersebut adalah:



Dalam kondisi operasional normal, setiap sel menghasilkan tegangan 2 V, sehingga total tegangan dari enam sel adalah 12 V. Tegangan ini digunakan untuk menghidupkan sirkuit pengapian mobil dan sistem kelistrikan lainnya. Baterai timbal-asam dapat menghasilkan arus besar dalam waktu singkat, seperti saat digunakan untuk menyalakan mesin kendaraan.

2.2 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang akan dilaksanakan ini relevan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Özkul & Özden, 2020), yang menyatakan bahwa aktivitas integrasi STEM yang berorientasi pada rekayasa (*engineering-oriented*) memberikan pengaruh positif terhadap keterampilan proses sains dan minat peserta didik sekolah menengah terhadap karier STEM. Selain itu, peserta didik juga melaporkan bahwa peserta didik memperoleh keterampilan abad ke-21, seperti berpikir ilmiah, kreativitas, berpikir secara multifaset, menggunakan desain rekayasa, bekerja sama, dan berkomunikasi. Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar guru sains mengintegrasikan aktivitas STEM berbasis rekayasa ke dalam pembelajaran sains di kelas untuk mendukung pengembangan keterampilan peserta didik secara holistik.

Penelitian oleh Solé-Llussà et al. (2019) mengeksplorasi efek tugas inkuiri berbasis pelatihan yang didukung oleh video *worked examples* terhadap keterampilan proses sains peserta didik sekolah dasar. Hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan video *worked examples* memberikan skema kognitif yang membantu peserta didik memahami proses inkuiri secara lebih terstruktur, serta berdampak positif pada pengembangan keterampilan proses sains peserta didik. Untuk menilai perkembangan keterampilan sains peserta didik melalui strategi pembelajaran yang diterapkan, sebuah tes tugas inkuiri dirancang, yang mencakup keterampilan berikut: (1) *Identify research questions*, (2) *Formulate previous ideas: hypothesis and predictions*, (3) *Identify variables*, (4) *Plan an investigation*, (5) *Represent data*, dan (6) *Analyse data and make scientific explanations*.

Menurut penelitian Ladachart, Radchanet, et al. (2022), pembelajaran berbasis desain (*design-based learning*) merupakan pendekatan kunci dalam pendidikan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) pada tingkat sekolah dasar dan menengah. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi pola pikir *design thinking* (*design thinking mindsets*) dan pembelajaran konseptual peserta didik kelas delapan dalam konteks pembelajaran berbasis desain tentang konsep katrol. Menggunakan desain kuasi-eksperimental, peserta didik diberikan

tes konseptual tentang katrol dan kuesioner skala *Likert* untuk mengukur pola pikir desain sebelum dan sesudah perlakuan. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa dimensi pola pikir desain, seperti orientasi belajar melalui membuat dan menguji serta kesadaran akan proses dan dampak terhadap orang lain, terbukti mendukung pembelajaran konseptual sains.

Penelitian oleh Ladachart et al. (2019) yang berfokus pada pengembangan dan validasi kuesioner *Design Thinking Mindset* (DTM) dalam konteks guru sekolah dasar di Thailand, yang menghadapi tantangan untuk mengintegrasikan proses desain rekayasa sebagai pendekatan instruksional dalam pendidikan STEM pasca-reformasi pendidikan. Studi ini melibatkan dua kelompok guru ($N = 138$) untuk mengukur nilai *Cronbach's alpha*, yang menunjukkan enam komponen DTM, yaitu (1) *Being comfortable with problems*, (2) *User empathy*, (3) *Mindfulness of the process*, (4) *Collaborative working with diversity*, (5) *Orientation to learning*, dan (6) *Creative confidence*.

Menurut penelitian Lin et al. (2021), proses desain rekayasa (*engineering design process*) yang diintegrasikan ke dalam pembelajaran berbasis proyek STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) memiliki dampak signifikan dalam mengembangkan *engineering design thinking* calon guru teknologi. Studi ini, yang melibatkan 28 calon guru teknologi menggunakan desain kuasi-eksperimental, menunjukkan bahwa pendekatan ini membantu peserta lebih memahami elemen seperti pengidentifikasian masalah, generasi ide, pemodelan, dan analisis kelayakan. Selain itu, hasilnya menekankan pentingnya mendorong guru untuk mengeksplorasi konsep desain rekayasa secara sistematis dan memperluas kemampuan dengan merancang aktivitas pembelajaran yang relevan dengan kehidupan nyata. Penelitian ini memberikan bukti awal mengenai efektivitas integrasi proses desain rekayasa dalam pembelajaran STEM berbasis proyek.

Aini et al. (2024) dalam penelitiannya mengenai *Engineering Design Process* (EDP) pada pembelajaran STEM melalui proyek miniatur Gazebo Joglo, mengungkapkan bahwa banyak peserta didik dapat berpikir kritis secara berkelompok untuk menyelesaikan masalah serta mampu menghasilkan desain

yang berfungsi secara optimal ketika diterapkan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan tujuh tahapan EDP, yaitu: (1) identifikasi masalah, (2) riset dan pembayangan, (3) rancangan solusi, (4) pembuatan, (5) uji coba dan evaluasi, (6) desain ulang, dan (7) komunikasi.

Menurut penelitian Abdurrahman (2023), integrasi proses desain rekayasa (*Engineering Design Process*, EDP) dalam pembelajaran berbasis proyek STEM (STEM-PBL) pada unit pembelajaran energi terbarukan efektif meningkatkan *system thinking skills* peserta didik. Selain itu, integrasi STEM-EDP memanfaatkan teknologi yang sederhana, murah, dan mudah ditemukan, sehingga menghasilkan pembelajaran yang lebih bermakna. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kuantitatif dengan rancangan *non-equivalent control group design*. Lebih lanjut dikatakan bahwa desain ini dipilih karena sesuai untuk diterapkan dalam studi ini.

Berdasarkan uraian teoretis dan temuan penelitian terdahulu, integrasi proses desain rekayasa dalam STEM memiliki landasan kuat untuk meningkatkan keterampilan proses sains dan pola pikir *design thinking* peserta didik. Keterampilan proses sains dan pola pikir *design thinking* sama-sama berakar pada konstruktivisme, di mana peserta didik sebagai subjek aktif membangun pengetahuan melalui inkuiri ilmiah yang melatih berpikir kritis, reflektif, dan sistematis sekaligus mengembangkan kreativitas, empati, dan kolaborasi untuk merancang solusi inovatif. Dengan demikian, penelitian berjudul “Pengaruh Integrasi Proses Desain Rekayasa dalam STEM terhadap Keterampilan Proses Sains dan Pola Pikir *Design Thinking*” dinilai layak untuk dilaksanakan karena berpotensi memberikan kontribusi signifikan dalam memperkuat implementasi pembelajaran mata pelajaran Projek IPAS di SMK, khususnya pada materi sel galvanik.

2.3 Kerangka Berpikir

Pola pikir *design thinking* merupakan kerangka mental yang menjadi landasan profesional dalam menerapkan prinsip-prinsip desain untuk menyelesaikan masalah kompleks. Pola pikir ini merupakan perpaduan antara sikap analitis dan kreatif yang mendorong individu untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan,

mengembangkan prototipe, memperoleh umpan balik, dan melakukan iterasi secara berkelanjutan. Lebih jauh, pola pikir tersebut berperan penting dalam pengembangan keterampilan abad ke-21 dengan menekankan empati, kolaborasi, kreativitas, dan rasionalitas dalam merancang solusi yang berpusat pada manusia. Dengan demikian, pola pikir ini tidak sekadar terkait kemampuan teknis, melainkan mencakup serangkaian sikap, keyakinan, dan perilaku yang membentuk cara seseorang menghadapi tantangan desain secara komprehensif.

Keterampilan proses sains merupakan fondasi epistemologis pembelajaran sains yang merepresentasikan seperangkat kemampuan kognitif dan psikomotorik untuk mengonstruksi pengetahuan ilmiah. Keterampilan ini bersifat *transferable skills* yang mencerminkan praktik ilmiah autentik, di mana peserta didik tidak hanya menguasai produk sains berupa fakta, hukum, dan teori, tetapi juga terlibat aktif secara mental maupun fisik dalam proses perolehannya. Melalui keterampilan proses sains, peserta didik dilatih untuk melakukan investigasi ilmiah secara sistematis mulai dari merumuskan pertanyaan hingga menyusun penjelasan berbasis data, sehingga terbentuk pemahaman yang mendalam mengenai cara kerja sains.

Keterampilan proses sains menjadi dasar inkuiri ilmiah yang membentuk pola pikir reflektif, kritis, dan inovatif, sehingga mendorong peserta didik lebih kreatif dan adaptif terhadap tantangan global. *Design thinking* menggabungkan pola pikir deliberatif untuk mengeksplorasi alternatif dan implementatif untuk mewujudkan solusi melalui prototipe, sehingga memperkuat kemampuan menghasilkan gagasan aplikatif dan inovatif. Keduanya saling melengkapi dalam memfasilitasi pemahaman konsep ilmiah secara mendalam serta penerapannya untuk menciptakan solusi inovatif yang kontekstual.

Keterampilan proses sains dan pola pikir *design thinking* berakar pada konstruktivisme yang menekankan keterlibatan aktif, pengalaman langsung, dan kolaborasi. Keterampilan proses sains selaras dengan teori kognitif Piaget yang menekankan pembentukan skema melalui interaksi dengan lingkungan, sedangkan pola pikir *design thinking* dipengaruhi teori pembelajaran sosial Vygotsky yang menekankan kolaborasi, iterasi, dan pemecahan masalah kontekstual. Keduanya

bersinergi dalam paradigma konstruktivis dengan menempatkan peserta didik sebagai subjek aktif yang membangun pengetahuan melalui inkuiri dan desain kolaboratif berorientasi solusi.

Proses desain rekayasa merupakan pendekatan sistematis dan kolaboratif dalam STEM yang secara iteratif mengubah kebutuhan dan batasan menjadi solusi inovatif melalui tahapan identifikasi masalah, pengembangan ide, pembuatan prototipe, pengujian, dan komunikasi hasil. Pendekatan ini menuntut perpaduan berpikir divergen dan konvergen secara berulang, sehingga sekaligus memperkuat pemahaman sains-matematika serta mengasah kreativitas, metakognisi, resiliensi, dan kolaborasi. Dengan integrasi yang tepat, proses desain rekayasa menciptakan pembelajaran autentik yang menumbuhkan kecerdasan analitis, kreatif, dan praktis peserta didik secara simultan.

STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) merupakan paradigma pendidikan integratif yang menghapus batas antar disiplin ilmu untuk menciptakan pengalaman belajar autentik, relevan, dan berorientasi pada pemecahan masalah nyata. Lebih dari sekadar penggabungan empat bidang, STEM menekankan penerapan konsep melalui desain rekayasa, pemanfaatan teknologi, praktik inkuiri, analisis data, dan kolaborasi. Karakteristik utamanya mencakup pemecahan masalah kontekstual, keterlibatan aktif dalam praktik autentik, kerja sama lintas disiplin, serta pengembangan resiliensi melalui proses iteratif.

Project Based Learning adalah model pembelajaran konstruktivis yang menempatkan peserta didik sebagai pusat melalui proyek autentik, kompleks, dan relevan dengan kehidupan nyata. Model ini mendorong pengembangan motivasi, keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan kemampuan pemecahan masalah. Namun, penerapannya memerlukan pengelolaan waktu yang baik, bimbingan intensif, serta dukungan sarana yang memadai.

Integrasi proses desain rekayasa dalam STEM merupakan mode pedagogis sistematis yang mentransformasikan konsep sains dan matematika menjadi solusi teknologi inovatif melalui tahapan iteratif berbasis masalah nyata. Pembelajaran ini menekankan penerapan pengetahuan melalui aktivitas "penyelidikan-

eksperimen" dan "desain-pembuatan" dalam konteks proyek autentik, sehingga mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, literasi STEM, dan keterampilan metakognitif. Melalui model tersebut, peserta didik tidak hanya membayangkan solusi dan menyelesaikan masalah nyata dengan proses desain rekayasa untuk meningkatkan daya saing di era ekonomi berbasis pengetahuan, tetapi juga membentuk kelompok belajar yang bertanggung jawab mandiri terhadap proses pembelajarannya.

Berdasarkan analisis kerangka berpikir yang telah dipaparkan, dapat diduga bahwa integrasi proses desain rekayasa dalam STEM berpengaruh terhadap keterampilan proses sains dan pola pikir *design thinking* peserta didik pada materi sel galvanik di kelas X SMK Negeri Bantarkalong tahun pelajaran 2024/2025.

2.4 Hipotesis

- 1 : Ada pengaruh integrasi proses desain rekayasa dalam STEM terhadap keterampilan proses sains peserta didik pada materi sel galvanik di kelas X SMK Negeri Bantarkalong tahun pelajaran 2024/2025.
- 2 : Ada pengaruh integrasi proses desain rekayasa dalam STEM terhadap pola pikir *design thinking* peserta didik pada materi sel galvanik di kelas X SMK Negeri Bantarkalong tahun pelajaran 2024/2025.
- 3 : Ada pengaruh integrasi proses desain rekayasa dalam STEM terhadap keterampilan proses sains dan pola pikir *design thinking* peserta didik pada materi sel galvanik di kelas X SMK Negeri Bantarkalong tahun pelajaran 2024/2025.