

BAB II

KAJIAN TEORI, KERANGKA PEMIKIRAN, DAN HIPOTESIS

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Literasi Kuantitatif (*Quantitative Literacy*)

2.1.1.1 Definisi Literasi Kuantitatif

Literasi kuantitatif, yang dalam beberapa literatur sering disepadankan dengan istilah numerasi, merujuk pada lebih dari sekadar kemampuan melakukan operasi perhitungan matematika dasar. Literasi kuantitatif merupakan sebuah *habit of mind* (kebiasaan berpikir) yang melibatkan kapasitas, kepercayaan diri, dan kecenderungan individu untuk menggunakan pemikiran kuantitatif dalam memahami, menginterpretasi, dan mengevaluasi informasi numerik di kehidupan sehari-hari (Kusumawati & Rahmat, 2021).

Berbeda dengan matematika murni yang berfokus pada struktur abstrak dan kebenaran aksiomatis di luar konteks, literasi kuantitatif selalu terikat dan berakar kuat pada konteks (Riyaldi et al., 2021). Seseorang dikatakan memiliki literasi kuantitatif yang baik apabila ia mampu menggunakan alat matematika dasar (seperti aritmetika, persentase, rasio, dan aljabar) secara efektif untuk memecahkan masalah kognitif kompleks yang berwujud fenomena empiris nyata (Fadilah et al., 2021).

2.1.1.2 Literasi Kuantitatif dalam Pembelajaran Biologi

Dalam paradigma pendidikan sains modern, biologi tidak lagi dipandang secara eksklusif sebagai disiplin ilmu kualitatif dan deskriptif. Biologi abad ke-21 telah bertransformasi menjadi sains yang sangat digerakkan oleh data (*data-driven science*), di mana pemahaman terhadap fenomena biologis mulai dari genetika hingga fisiologi sistem organ sangat bergantung pada pemodelan matematika dan analisis statistik (Nuraeni et al., 2022).

Tuntutan penguasaan literasi kuantitatif dalam sains dipertegas oleh hasil laporan *Programme for International Student Assessment (PISA)* tahun 2022 yang

menunjukkan bahwa peserta didik Indonesia masih mengalami kendala signifikan dalam menerapkan penalaran matematika untuk memecahkan masalah saintifik kontekstual (OECD, 2023). Pada pembelajaran materi Sistem Pernapasan, kelemahan literasi kuantitatif menyebabkan peserta didik kesulitan memaknai angka-angka fisiologis, seperti perbedaan volume tidal dan kapasitas vital paru-paru. Tanpa kemampuan membaca grafik spirogram atau menghitung persentase penurunan fungsi paru akibat paparan polusi, materi sistem pernapasan hanya akan direduksi menjadi hafalan nama organ tanpa makna klinis yang utuh (Sari & Widiyanti, 2024).

2.1.1.3 Indikator pengukuran Literasi Kuantitatif

Untuk mengukur capaian literasi kuantitatif secara sistematis dan komprehensif, penelitian ini mengadaptasi *Quantitative Literacy VALUE Rubric* yang dirumuskan oleh *Association of American Colleges and Universities* (AAC&U). Rubrik ini telah diakui dan digunakan secara luas sebagai instrumen validasi dalam penelitian pendidikan sains biologi (Riyaldi et al., 2021; Wahyuni et al., 2022).

Literasi kuantitatif tidak dipandang sebagai keterampilan tunggal, melainkan konstruksi multidimensional yang terdiri dari enam indikator utama. Keenam indikator tersebut dijabarkan sebagai berikut:

a. Interpretasi (*Interpretation*)

Interpretasi merupakan kemampuan kognitif dasar untuk mengidentifikasi, membaca, dan mendeskripsikan informasi sains yang disajikan melalui berbagai bentuk representasi visual-matematis, seperti persamaan, kurva, grafik diagram, dan tabel pengamatan (Kusumawati & Rahmat, 2021). Dalam konteks pembelajaran sistem pernapasan, indikator ini terlihat ketika peserta didik mampu menginterpretasikan grafik *spirogram*. Peserta didik tidak sekadar melihat garis naik-turun, tetapi mampu mendeskripsikan bahwa puncak kurva menunjukkan volume inspirasi maksimal dan lembah kurva menunjukkan volume ekspirasi

maksimal. Kegagalan dalam interpretasi akan menyebabkan peserta didik salah memaknai data empiris yang disajikan (Nuraeni et al., 2022).

b. Representasi (*Representation*)

Indikator representasi (*representation*) memiliki dimensi kognitif yang proaktif dan terstruktur dalam kerangka literasi kuantitatif. Berbeda dengan tahapan interpretasi yang cenderung bersifat reseptif atau sekadar "membaca" informasi yang sudah tersaji, representasi menuntut peserta didik secara aktif untuk "menciptakan" atau mentransformasikan informasi biologis beserta sekumpulan data mentah hasil eksperimen ke dalam berbagai bentuk pemodelan visual matematis (AAC&U, 2009 dalam Riyaldi et al., 2021).

Dalam konteks implementasi pembelajaran sistem pernapasan, kompetensi representasi ini diuji ketika peserta didik harus mengelola data empiris yang diperoleh dari pengukuran kapasitas paru-paru menggunakan media *Spiro Tech DIY*. Angka-angka mentah berupa takaran volume udara tersebut tidak dibiarkan begitu saja sebagai deretan nominal acak, melainkan dikonversi dan disajikan ulang oleh peserta didik ke dalam bentuk tabel distribusi, grafik batang, maupun kurva *spirogram* pernapasan di dalam *platform* E-LKPD. Kemampuan merepresentasikan data inilah yang memfasilitasi peserta didik untuk memvisualisasikan mekanisme fisiologis pernapasan yang abstrak menjadi sebuah pola tren numerik yang nyata, terukur, serta dapat dikomunikasikan secara presisi menurut kaidah keilmuan biologi.

c. Kalkulasi (*Calculation*)

Kalkulasi adalah kecakapan prosedural dalam mengeksekusi operasi hitung matematika secara akurat dan efisien untuk menyelesaikan rumusan masalah biologi (Wahyuni et al., 2022). Meskipun kalkulasi sering dianggap sebagai domain matematika murni, dalam biologi, kalkulasi adalah alat pembuktian. Indikator ini diukur dari kemampuan peserta didik kelas XI dalam menghitung selisih kapasitas vital antar individu, menentukan rata-rata (*Mean*) frekuensi pernapasan kelompok,

hingga menghitung persentase penurunan volume paru-paru berdasarkan rasio data matematis.

d. Aplikasi dan Analisis (Application/Analysis)

Indikator aplikasi dan analisis (*application and analysis*) merupakan tahapan penalaran kognitif tingkat tinggi di dalam kerangka kerja literasi kuantitatif. Pada tahap ini, peserta didik tidak sekadar dituntut untuk mampu menyelesaikan kalkulasi matematis secara prosedural, melainkan harus mampu merumuskan penilaian kritis, menarik inferensi logis, serta memecahkan permasalahan kontekstual berdasarkan himpunan data kuantitatif yang telah diolah (Harianto et al., 2021).

Dalam konteks pembelajaran biologi, khususnya pada materi sistem pernapasan, indikator ini terwujud secara nyata ketika peserta didik menggunakan hasil perhitungan matematis seperti volume dan kapasitas vital paru-paru sebagai basis bukti empiris untuk mengurai fenomena fisiologis. Sebagai contoh, setelah peserta didik selesai melakukan kalkulasi, mereka dihadapkan pada tuntutan analisis yang lebih mendalam, seperti mengevaluasi disparitas data: "Mengapa kapasitas vital paru-paru peserta didik yang tidak aktif berolahraga secara kuantitatif berada 20% lebih rendah dibandingkan dengan peserta didik yang merupakan atlet sekolah?". Melalui penalaran tersebut, peserta didik mengaplikasikan data persentase sebagai landasan empiris untuk menganalisis tingkat elastisitas jaringan alveolus secara medis. Dengan demikian, angka tidak lagi direpresentasikan secara statis maupun terisolasi, melainkan diekstraksi dan dianalisis sebagai representasi komprehensif dari kondisi biologis yang nyata di kehidupan sehari-hari (Fauzi & Fadilah, 2024).

e. Asumsi (*Assumption*)

Asumsi merupakan indikator literasi kuantitatif yang mengukur kapasitas metakognisi peserta didik dalam mengenali, merumuskan hipotesis, serta mengevaluasi batasan-batasan dan asumsi logis yang mendasari proses pengambilan data (Riyaldi et al., 2021). Dalam setiap praktikum sains, selalu terdapat margin kesalahan (*margin of error*). Melalui pendekatan *engineering*

(merakit alat *Spiro Tech DIY*), Peserta didik dibiasakan untuk mengkritisi tingkat presisi alat yang digunakan sebagai bagian dari proses memperoleh data yang akurat. Peserta didik harus mampu mengevaluasi asumsi bahwa kebocoran kecil pada selang dapat memengaruhi validitas angka volume respirasi yang terukur. Pemahaman terhadap indikator ini mencegah peserta didik menerima data angka secara mutlak tanpa sikap skeptis yang ilmiah.

f. Komunikasi (*Communication*)

Indikator tertinggi dari literasi kuantitatif adalah komunikasi, yaitu keterampilan mengekspresikan, mengonstruksi, dan mempertahankan sebuah argumen saintifik menggunakan representasi dan bukti numerik yang relevan (Kusumawati & Rahmat, 2021). Sering kali, peserta didik SMA menuliskan kesimpulan praktikum hanya dengan kalimat deskriptif yang ambigu, seperti "Napas penderita asma lebih pendek". Melalui indikator komunikasi ini, peserta didik dilatih dan diukur kemampuannya untuk menuliskan narasi kesimpulan yang saintifik, seperti: "Berdasarkan data, terdapat penurunan kapasitas vital paru-paru sebesar 25% pada kelompok jarang berolahraga dibandingkan kelompok aktif berolahraga"

2.1.1.4 Keterkaitan Literasi Kuantitatif dengan Pembelajaran Mendalam dan STEAM

Peningkatan literasi kuantitatif peserta didik tidak dapat dicapai melalui metode *transmitif* (ceramah) atau pendekatan *surface Learning* (pembelajaran dangkal) yang hanya berorientasi pada hafalan rumus. Pengembangan *habit of mind* kuantitatif membutuhkan perwujudan *Deep Learning* yang difasilitasi oleh pendekatan interdisipliner STEAM (Kemendikdasmen, 2025; Yakman & Lee, 2022).

Integrasi elemen *Engineering* dan *Technology* di dalam pendekatan STEAM memiliki peran krusial dalam menyediakan konteks fisik eksperiensial di mana data numerik tersebut dilahirkan. Sebagai representasi kontekstual, proses ketika peserta didik secara mandiri merakit, melakukan kalibrasi alat, menarik

perpindahan air, dan menghitung volume paru-parunya sendiri terbukti mampu menciptakan kondisi *Mindful Learning* (pembelajaran berkesadaran) yang sangat efektif dalam melatih ketelitian metakognitif (Bistari et al., 2026).

Selanjutnya, kemampuan peserta didik untuk mengevaluasi dan mengaitkan hasil kalkulasi angka kapasitas vital paru-paru tersebut dengan realita klinis maupun gaya hidup mereka seperti kebiasaan berolahraga atau paparan polusi udara merupakan wujud nyata dari terciptanya *Meaningful Learning* (pembelajaran bermakna). Pada puncaknya, iklim eksplorasi sains yang aplikatif dan kolaboratif ini akan menumbuhkan *Joyful Learning* (pembelajaran menggembirakan). Kondisi psikologis yang positif ini terbukti secara empiris mampu menurunkan dinding resistensi kognitif dan mereduksi kecemasan matematis (*math anxiety*), sehingga instrumen penalaran literasi kuantitatif peserta didik dapat berkembang secara maksimal (Putra et al., 2026).

2.1.2 Pendekatan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*)

2.1.2.1 Hakikat Pendekatan STEAM

STEAM merupakan singkatan dari *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* yang merupakan pendekatan interdisipliner dalam pembelajaran yang mengintegrasikan kelima domain pengetahuan dalam konteks yang saling terhubung dan bermakna. Berbeda dengan pendekatan pembelajaran tradisional yang memandang setiap disiplin ilmu secara terisolasi dan terpisah-pisah, STEAM mengintegrasikan lima domain tersebut dalam satu pengalaman belajar yang koheren dan autentik (Yakman & Lee, 2022). Pendekatan ini berevolusi dari pendekatan STEM (tanpa Arts) dengan penambahan elemen seni untuk menekankan pentingnya kreativitas, estetika, dan pemikiran lateral dalam pemecahan masalah.

Yakman dan Lee (2022) menjelaskan bahwa STEAM tidak sekadar menggabungkan lima disiplin ilmu secara arbitrer, melainkan menciptakan pendekatan berpikir terintegrasi (*integrative thinking*) yang memungkinkan peserta

didik melihat keterkaitan antara berbagai bidang pengetahuan dalam menyelesaikan masalah kompleks. Premis dasar STEAM adalah bahwa masalah-masalah nyata dalam kehidupan tidak dapat diselesaikan dengan pendekatan *unidisipliner*, melainkan membutuhkan pemikiran yang melampaui batas-batas disiplin ilmu tradisional. Dalam konteks pendidikan abad ke-21, STEAM menjadi sangat relevan karena tuntutan akan sumber daya manusia yang mampu berpikir kreatif, kolaborasi lintas disiplin, dan inovasi berbasis teknologi.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan STEAM memiliki dampak positif terhadap berbagai aspek pembelajaran. Kelley dan Knowles (2022) dalam studi mereka menemukan bahwa implementasi STEAM secara signifikan meningkatkan motivasi belajar, keterampilan pemecahan masalah, dan kemampuan transfer pengetahuan peserta didik. Lebih lanjut, penelitian oleh Dettmann dan Pea (2023) menunjukkan bahwa integrasi STEAM dalam pembelajaran sains membantu peserta didik membangun pemahaman konseptual yang lebih dalam karena mereka dapat melihat bagaimana konsep-konsep dari berbagai disiplin saling terkait dan diterapkan dalam konteks nyata.

2.1.2.2 Karakteristik Lima Elemen STEAM

Dalam konteks pembelajaran biologi tentang sistem pernapasan manusia, masing-masing elemen STEAM memiliki peran dan kontribusi spesifik yang saling melengkapi untuk menciptakan pengalaman belajar yang holistik.

a) *Science* (Ilmu Pengetahuan Alam)

Elemen sains dalam STEAM konteks pembelajaran biologi mencakup pemahaman tentang konsep-konsep ilmiah yang relevan dengan sistem pernapasan, seperti anatomis struktur organ pernapasan, fisiologi mekanisme ventilasi, biokimia pertukaran gas di alveolus, serta hubungan sistem pernapasan dengan sistem tubuh lainnya. Peserta didik tidak sekadar menghafal fakta-fakta ilmiah, tetapi belajar bagaimana para ilmuwan memperoleh pengetahuan tersebut melalui metode ilmiah dan bukti empiris (Han et al., 2022). Pada materi sistem pernapasan, elemen sains (*Science*) memuat kajian konseptual mengenai mekanisme paru-paru sebagai organ

pertukaran gas, proses pengangkutan oksigen oleh hemoglobin, serta sistem pengaturan frekuensi pernapasan di dalam tubuh.

b) *Technology* (Teknologi)

Elemen teknologi dalam STEAM mencakup penggunaan alat-alat teknologi untuk mengakses informasi, memanipulasi data, dan memvisualisasikan konsep-konsep abstrak. Dalam konteks penelitian ini, teknologi terintegrasi melalui penggunaan E-LKPD digital yang memanfaatkan multimedia interaktif, simulasi virtual tentang proses pernapasan, serta aplikasi untuk merekam dan menganalisis data spirometri (Nurhayati et al., 2023). Penggunaan teknologi tidak sekedar sebagai alat bantu presentasi, tetapi sebagai bagian integral dari proses pembelajaran dimana peserta didik menggunakan teknologi untuk menyelidiki, eksplorasi, dan memecahkan masalah.

c) *Engineering* (Rekayasa)

Komponen *Engineering* (rekayasa) dalam kerangka STEAM berfungsi sebagai jembatan aplikatif yang mentransformasikan pengetahuan konseptual sains dan hitungan matematis menjadi solusi rancang bangun yang nyata dan berdaya guna (Sa'adah et al., 2026). Pada tahapan ini, peserta didik secara aktif dilibatkan dalam siklus Proses Desain Rekayasa (*Engineering Design Process*) yang mencakup tahapan perancangan, perakitan, pengujian, hingga evaluasi sebuah instrumen atau prototipe guna merespons permasalahan spesifik secara terstruktur. Melalui aktivitas rekayasa langsung (*hands-on*), peserta didik tidak sekedar menelan teori secara pasif, melainkan dituntut untuk bernalar kritis dalam memvalidasi fungsionalitas alat, mengidentifikasi potensi kesalahan mekanisme (*troubleshooting*), dan mengoptimalkan desain rancangannya. Pengalaman eksperiensial ini terbukti secara efektif mampu mengasah keterampilan pemecahan masalah (*problem-solving*) yang autentik dan bermakna bagi peserta didik (Saufiatun, 2024).

d) *Arts* (Seni)

Elemen seni dalam STEAM mencakup aspek kreativitas, estetika, dan ekspresi dalam pembelajaran. Meskipun sering diabaikan dalam pembelajaran sains tradisional, elemen seni memiliki peran penting dalam mengembangkan pemahaman yang lebih dalam dan keterlibatan emosional peserta didik. Dalam penelitian ini, elemen seni diintegrasikan melalui: (1) visualisasi struktur anatomis sistem pernapasan dalam bentuk ilustrasi atau animasi kreatif, (2) desain produk *Spiro Tech DIY* yang estetik dan inovatif, (3) presentasi hasil eksperimen dalam bentuk infografis atau poster yang menarik, dan (4) apresiasi terhadap keindahan kompleksitas sistem biologis tubuh manusia (Fatmawati et al., 2024). Integrasi elemen seni mengakomodasi berbagai gaya belajar peserta didik dan membuat pembelajaran biologi menjadi lebih menarik dan relevan dengan kehidupan nyata (Mishra, 2026).

e) *Mathematics* (Matematika)

Elemen matematika dalam STEAM menyediakan kerangka untuk kuantifikasi, analisis data, dan pemahaman hubungan kuantitatif. Dalam pembelajaran sistem pernapasan, matematika memiliki peran yang krusial dalam memahami volume dan kapasitas paru-paru. Peserta didik melakukan pengukuran menggunakan *Spiro Tech DIY*, menghitung kapasitas vital, menganalisis data dalam bentuk tabel dan grafik, membandingkan hasil pengukuran mereka dengan nilai standar, serta mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi pernapasan secara kuantitatif. Pengalaman ini membantu peserta didik melihat matematika sebagai alat yang berguna dan bermakna, bukan sekadar abstraksi yang tidak relevan dengan kehidupan nyata (Dettmann & Pea, 2023).

2.1.3 E-LKPD (Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik)

2.1.3.1 Definisi dan Fungsi E-LKPD

E-LKPD dapat didefinisikan sebagai lembar kerja digital yang dirancang untuk memfasilitasi pembelajaran peserta didik dengan memanfaatkan teknologi multimedia dan fitur interaktif (Susilana & Riyana, 2022). Berbeda dengan LKPD

cetak yang terbatas pada teks dan gambar statis, E-LKPD dapat mengintegrasikan berbagai format media seperti teks, gambar, audio, video, animasi, simulasi interaktif, dan quiz formatif dalam satu platform digital. Fungsi utama E-LKPD mencakup: (1) panduan belajar mandiri yang dapat diakses secara fleksibel, (2) penyedia pengalaman belajar interaktif yang menarik, (3) alat evaluasi formatif yang memberikan umpan balik langsung, dan (4) sarana pengayaan materi yang melampaui buku teks (Rahman & Astuti, 2024).

2.1.3.2 Kelebihan E-LKPD Interaktif

E-LKPD interaktif memiliki berbagai keunggulan dibandingkan LKPD cetak konvensional yang menjadikannya lebih efektif dalam mendukung pembelajaran mendalam.

a) Integrasi Multimedia

Rahmawati et al. (2025) mengatakan bahwa penggunaan E-LKPD dapat mengintegrasikan berbagai elemen multimedia yang memperkaya pengalaman belajar. Video animasi dapat menunjukkan proses yang tidak dapat diamati secara langsung seperti gerakan diafragma saat bernafas, difusi gas di alveolus, atau hubungan antara kontraksi otot dengan pengembangan paru-paru. Simulasi interaktif memungkinkan peserta didik memanipulasi variabel dan mengamati dampaknya, misalnya mengubah volume dada dan melihat dampaknya terhadap tekanan intrapleural. Visualisasi data dalam bentuk grafik dan diagram membantu peserta didik memahami hubungan perhitungan antara berbagai parameter pernapasan.

b) Umpan Balik Langsung

Salah satu keunggulan utama E-LKPD adalah kemampuannya memberikan umpan balik langsung terhadap respons peserta didik. Ketika peserta didik menyelesaikan quiz atau latihan, mereka dapat langsung mengetahui apakah jawaban mereka benar atau salah beserta penjelasan yang relevan. Umpan balik ini membantu peserta didik mengidentifikasi kesalahpahaman mereka secara dini dan segera melakukan perbaikan sebelum kesalahan tersebut mengkristal menjadi

miskonsepsi yang sulit dihilangkan. Fitur ini juga mengurangi beban guru dalam memberikan koreksi secara individual, sehingga guru dapat fokus pada membimbing peserta didik yang membutuhkan perhatian lebih (Nurhayati et al., 2023).

2) Pembelajaran Adaptif

E-LKPD dapat dirancang untuk menyesuaikan tingkat kesulitan dan kecepatan pembelajaran dengan kebutuhan individual peserta didik. Peserta didik yang membutuhkan lebih banyak waktu dapat mengakses materi berulang kali, sementara peserta didik yang sudah memahami dapat melanjutkan ke materi berikutnya. Beberapa E-LKPD bahkan dilengkapi dengan sistem adaptif yang secara otomatis menyajikan materi pengayaan berdasarkan kinerja peserta didik sebelumnya. Fleksibilitas ini mendukung prinsip pembelajaran berdiferensiasi yang menjadi salah satu pilar Kurikulum Merdeka (Kemendibudristek, 2022).

3) Ramah Lingkungan

Dari perspektif keberlanjutan lingkungan, E-LKPD lebih ramah lingkungan karena mengurangi penggunaan kertas dan limbah percetakan. Dalam jangka panjang, penggunaan E-LKPD dapat mengurangi biaya produksi dan distribusi materi pembelajaran. Meskipun memerlukan investasi awal untuk pengembangan dan perangkat keras, biaya operasional jangka panjang cenderung lebih rendah dibandingkan LKPD cetak yang harus dicetak ulang setiap tahun (Susilana & Riyana, 2022).

2.1.4 Pendekatan *Spiro Tech DIY*

2.1.4.1 Konsep Spirometer dan Fungsinya

Secara medis, spirometri merupakan tes standar yang digunakan untuk menilai fungsi paru-paru melalui beberapa indikator volume. Pengukuran ini mencakup volume tidal pada pernapasan normal, serta kapasitas vital inspirasi dan ekspirasi yang menghitung volume maksimum udara saat ditarik maupun diembuskan sekuat-kuatnya. Selain itu, tes ini juga mengevaluasi volume residu,

yakni sisa udara yang menetap di dalam paru-paru setelah ekspirasi maksimal dilakukan (American Thoracic Society, 2023).

Pemeriksaan spirometri memiliki beberapa fungsi klinis penting, yaitu: (1) mendiagnosis penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) dan asma, (2) menilai tingkat keparahan gangguan fungsi paru, (3) memantau perkembangan penyakit dan respons terhadap pengobatan, (4) menilai risiko pra-operasi untuk prosedur bedah toraks, dan (5) skrining gangguan fungsi paru pada pekerja yang terekspos zat berbahaya (Pellico et al., 2022). Dalam konteks pendidikan, spirometri digunakan sebagai alat pembelajaran untuk membantu peserta didik memahami konsep-konsep tentang volume dan kapasitas paru-paru secara konkret dan autentik.

2.1.4.2 Prinsip Do It Yourself (DIY) dalam Spiro Tech DIY

Spiro Tech DIY yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan inovasi alat praktikum sederhana untuk mengukur kapasitas vital paru-paru yang dibuat sendiri oleh peserta didik menggunakan material bekas seperti galon air mineral dan ember plastik. Prinsip kerja alat ini didasarkan pada metode perpindahan air (water displacement method) yang merupakan prinsip fisika sederhana namun akurat untuk mengukur volume gas.

Prinsip water displacement dapat dijelaskan sebagai berikut: ketika udara dihembuskan ke dalam alat yang terendam dalam air, udara tersebut akan mendesak/memindahkan air keluar dari wadah. Volume air yang dipindahkan sama dengan volume udara yang dihembuskan ke dalam alat. Dengan mengukur volume dengan alat DIY (*Do It Yourself*) dalam konteks pembelajaran STEAM memiliki peran penting dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21 dan mendukung terciptanya pembelajaran mendalam. Ketika peserta didik merakit sendiri *Spiro Tech DIY*, mereka tidak sekadar menggunakan alat yang sudah jadi, tetapi mengalami proses *engineering design* secara langsung. Proses ini mencakup: (1) identifikasi masalah yaitu kebutuhan untuk mengukur kapasitas vital paru-paru, (2) perancangan solusi berupa desain alat sederhana, (3) konstruksi alat menggunakan material yang tersedia, (4) pengujian dan evaluasi hasil, serta (5) perbaikan iteratif jika diperlukan (Kelley & Knowles, 2022).

Pembelajaran melalui aktivitas DIY memiliki beberapa keunggulan pedagogis. Pertama, peserta didik membangun pemahaman yang lebih mendalam karena mereka mengalami sendiri bagaimana alat bekerja, tidak sekedar membaca petunjuk penggunaan. Kedua, aktivitas *hands-on* mengembangkan keterampilan motorik dan koordinasi antara konseptual dengan praktik. Ketiga, keberhasilan dalam membuat alat sendiri meningkatkan rasa percaya diri dan self-efficacy peserta didik. Keempat, proses pemecahan masalah yang dihadapi selama perakitan mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif (Lee & Ou, 2023). Dalam konteks pembelajaran sistem pernapasan, aktivitas merakit *Spiro Tech DIY* memberikan pengalaman konkret yang membantu peserta didik memahami konsep volume dan kapasitas paru-paru secara bermakna.

2.1.5 Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*)

2.1.5.1 Sejarah Pembelajaran Mendalam

Pembelajaran mendalam (*deep Learning*) merupakan pendekatan pembelajaran yang menekankan pemahaman konseptual yang kuat, kemampuan untuk mentransfer pengetahuan ke konteks baru, dan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Pembelajaran mendalam ini awal ditemukan terdapat dua konsep yang berbeda, dimana konsep pertama pembelajaran mendalam ini merujuk pada pembelajaran mesin yang ditemukan sejak tahun 1940, dari tahap awal sibernetika sampai dengan kecerdasan buatan (Peters, 2018), dan ilmu yang mempelajari jejaring syaraf pada otak (Richards et al., 2019) Sedangkan pada konsep kedua ini, pembelajaran mendalam adalah strategi pembelajaran yang diterapkan di negara Norwegia dalam bidang pendidikan, yang berbeda dari konsep ini adalah tidak ada keterkaitannya dengan ilmu komputer (Bråten & Skeie, 2020).

Menurut Kemendikdasmen (2025) dalam bukunya menjelaskan bahwa dalam penerapannya, pembelajaran mendalam ini dibagi kedalam tiga fase. Pada fase pertama, istilah pembelajaran mendalam ini pertama kali diperkenalkan oleh Marton & Saljd (1976) mereka mengaitkan tentang teori pembelajaran mendalam (*Deep Learning*) dengan teori pembelajaran dangkal (*Surface Learning*). Dalam penelitian ini mereka menemukan strategi membaca maha peserta didik dengan

pendekatan pembelajaran mendalam, yakni dengan cara memahami makna, menghubungkan ide, dan melihat pada konteks yang lebih luas, hal tersebut lebih efektif dibandingkan dengan pembelajaran dangkal hanya menghafal fakta yang tersurat dalam teks tanpa pemahaman mendalam baik secara konseptual maupun kontekstual, hal tersebut tidak efektif untuk pembelajaran jangka panjang dan pemecahan masalah. Pada fase kedua, pembelajaran mendalam ini kemudian dikembangkan oleh Jean Piaget dan Lev Vygotsky pada tahun 1990-2000-an, pemikiran bahwa belajar adalah suatu proses yang aktif dalam membangun pengetahuan yang disebut dengan teori konstruktivisme. Dalam penelitian ini, mereka mempopulerkan metode pembelajaran berbasis proyek, kolaborasi dan berbasis masalah, yang kemudian dikaitkan dengan pengembangan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah. Semua strategi ini telah diterapkan dalam pembelajaran di Indonesia, tetapi proses dan hasilnya masih jauh dari harapan (Kemendikdasmen, 2025).

Terakhir fase ketiga, yang merupakan fase modern dari tahun 2010 hingga saat ini telah dilakukan digitalisasi, yakni mengintegrasikan dengan bidang teknologi yang bertujuan untuk mendukung pembelajaran mendalam dengan menggunakan stimulasi, pembelajaran berbasis permainan (*Game-Based Learning*) dan pembelajaran berbasis data. Inovasi pembelajaran mendalam ini mencakup isu-isu global, seperti bersifat berkelanjutan (*Sustainable*), literasi berbasis digital, dan pembelajaran yang melibatkan sosial emosional. Dengan demikian, pembelajaran dalam dunia pendidikan itu lebih menekankan pada pemahaman mendalam oleh peserta didik dalam mengaplikasikan suatu pengetahuan kedalam berbagai konteks (Kemendikdasmen, 2025).

2.1.5.2 Definisi Pembelajaran Mendalam

Biggs & Tang (2011) mendefinisikan pembelajaran mendalam sebagai pendekatan belajar di mana peserta didik secara aktif mengaitkan pengetahuan baru dengan pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya, mengevaluasi ide dari berbagai perspektif, dan menerapkan pemahaman dalam situasi yang berbeda dan kompleks.

Dalam perkembangan lebih lanjut, Fullan et al. (2018) dalam bukunya mengungkapkan bahwa pembelajaran mendalam terjadi ketika peserta didik benar-benar memahami apa yang mereka pelajari, dapat menerapkan pengetahuan tersebut dalam konteks baru, dan memiliki kemampuan untuk terus belajar sepanjang hayat. Pembelajaran mendalam bukan sekedar tentang menghafal informasi, tetapi tentang *transformasional Learning* yang mengubah cara peserta didik berpikir, bertindak, dan memahami dunia di sekitar mereka. Pendekatan ini menjadi sangat relevan dalam konteks pendidikan abad ke-21 yang menuntut generasi muda memiliki kemampuan berpikir kritis, kreatif, dan kompleks untuk menghadapi tantangan yang tidak dapat diprediksi.

Sedangkan menurut Kemendikdasmen (2025) Pembelajaran Mendalam didefinisikan sebagai pendekatan yang memuliakan dengan menekankan pada penciptaan suasana belajar dan proses pembelajaran dengan memperhatikan tiga aspek utama, yaitu pembelajaran berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan melalui olah pikir, olah hati, olah rasa, dan olah raga secara holistik dan terpadu.

Untuk memahami pembelajaran mendalam secara utuh, perlu dipahami pula konsep pembelajaran superfisial (*surface Learning*) sebagai lawannya. *Surface Learning* merupakan pendekatan pembelajaran di mana peserta didik sekedar menerima informasi secara pasif tanpa berusaha memahami makna dan konteks yang lebih luas. Menurut Biggs dan Tang (2022), karakteristik *surface Learning* mencakup penghafalan informasi secara literal tanpa pemahaman, fokus pada fakta-fakta terpisah tanpa melihat hubungan antar konsep, ketergantungan pada guru untuk petunjuk dan bimbingan, serta kurangnya refleksi terhadap proses belajar itu sendiri. Perbedaan fundamental antara *deep Learning* dan *surface Learning* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Perbedaan *deep Learning* dan *surface Learning* (Biggs dan Tang, 2022)

Aspek	Pembelajaran Mendalam	Pembelajaran Superfisial
Tujuan	Memahami makna dan konsep	Menghafal untuk ujian

Strategi	Mengaitkan dengan pengetahuan sebelumnya	Menerima informasi apa adanya
Kognitif	Analisis, sintesis, evaluasi	Mengingat, memahami
Kontrol	Peserta didik mengontrol proses belajar	Guru mengontrol proses belajar
Transfer	Mampu menerapkan dalam konteks baru	Sulit diterapkan dalam situasi baru

2.1.5.3 Indikator Pembelajaran Mendalam

Berdasarkan tinjauan literatur dan kerangka konseptual yang dikembangkan oleh berbagai ahli pendidikan, penelitian ini menggunakan tiga indikator utama untuk mengukur pembelajaran mendalam, yaitu *Mindful Learning*, *Meaningful Learning*, dan *Joyful Learning*. Ketiga indikator ini dipilih karena secara komprehensif mencakup aspek kognitif, afektif, dan metakognitif yang merupakan karakteristik utama pembelajaran mendalam.

a. *Mindful Learning* (Pembelajaran Berkesadaran)

Mindful Learning atau pembelajaran berkesadaran merujuk pada kondisi di mana peserta didik fully present dan fokus pada proses pembelajaran yang sedang berlangsung. Konsep ini berakar pada tradisi *Mindfulness* dari praktik meditasi, tetapi telah diadaptasi ke dalam konteks pendidikan oleh berbagai peneliti. Geng, et al. (2011) dalam Feriyanto & Anjariyah (2024)) mendefinisikan *Mindful Learning* sebagai kondisi di mana peserta didik dapat meningkatkan fleksibilitas terhadap konteks yang selalu berubah, mampu melihat berbagai perspektif, dan menciptakan kategori baru untuk memahami informasi.

Indikator *Mindful Learning* mencakup: (1) fokus dan attention yang terarah pada materi yang dipelajari (2) kesadaran akan proses berpikir sendiri (metakognisi) (3) ketelitian dalam menganalisis informasi dan menghindari asumsi yang salah, (4) keterbukaan terhadap ide-ide baru dan perspektif yang berbeda, serta (5) refleksi kritis terhadap pengetahuan yang diperoleh (Fauzan et al., 2025). Dalam penelitian ini, *Mindful Learning* diukur melalui kemampuan peserta didik dalam menganalisis data spirometri mereka sendiri secara teliti, mengevaluasi faktor-

faktor yang mempengaruhi fungsi pernapasan, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti empiris dari eksperimen *Spiro Tech DIY*.

b. *Meaningful Learning* (Pembelajaran yang Bermakna)

Meaningful Learning atau pembelajaran yang bermakna merujuk pada pembelajaran yang menghubungkan pengetahuan baru dengan pengalaman dan pengetahuan sebelumnya secara aktif. Menurut Ausubel (1968) dalam Feriyanto & Anjariyah (2024) yang mengembangkan teori *Learning Meaningful*, pengetahuan baru harus diatribusikan secara *non subversive* dengan struktur kognitif yang sudah ada dalam pikiran peserta didik. Pembelajaran bermakna terjadi ketika peserta didik melihat relevansi antara apa yang mereka pelajari dengan kehidupan nyata, kepentingan pribadi, dan tujuan masa depan mereka (Ramadhan, 2025).

Andayanie et al. (2025) mengidentifikasi kondisi-kondisi yang mendukung *Meaningful Learning*, yaitu: (1) pembelajaran berpusat pada masalah autentik yang relevan dengan kehidupan peserta didik, (2) peserta didik mengaktifkan pengetahuan awal mereka tentang topik yang dipelajari, (3) peserta didik memperoleh pengetahuan baru dan memahami perbedaannya dengan pengetahuan sebelumnya, (4) peserta didik menerapkan pengetahuan dalam situasi baru, dan (5) peserta didik merefleksikan proses dan strategi pembelajaran mereka. Dalam konteks pembelajaran sistem pernapasan, *Meaningful Learning* tercipta ketika peserta didik dapat mengaitkan konsep-konsep seperti kapasitas vital paru dengan pengalaman hidup mereka sendiri, misalnya setelah berolahraga atau saat menghadapi kondisi udara yang berpolusi di lingkungan sekitar SMAN 1 Ciparay.

c. *Joyful Learning* (Pembelajaran yang Menyenangkan)

Joyful Learning merupakan pendekatan pembelajaran yang menekankan terciptanya suasana belajar yang menyenangkan, interaktif, dan memotivasi peserta didik untuk aktif dalam proses pembelajaran. Lingkungan belajar yang menyenangkan dapat meningkatkan motivasi belajar serta mengurangi tekanan psikologis yang sering muncul dalam proses belajar (D. Maknun et al., 2025). L. Maknun & Niswar (2025) menambahkan bahwa pembelajaran yang menyenangkan tidak sekadar tentang *fun* atau hiburan, tetapi mencakup rasa aman untuk

mengambil risiko, kebanggaan atas pencapaian, dan kepuasan atas proses belajar itu sendiri.

Dalam konteks penelitian ini, *Joyful Learning* dioperasionalkan melalui beberapa aspek, yaitu: (1) suasana belajar yang bebas dari kecemasan dan tekanan, (2) kesempatan untuk belajar dengan enjoy dan antusiasme, (3) interaksi sosial yang positif dengan guru dan teman sekelas, (4) rasa ingin tahu yang terpancing untuk mengeksplorasi lebih jauh, dan (5) perasaan kompeten dan berdaya dalam menyelesaikan tugas pembelajaran. *Joyful Learning* menjadi prasyarat penting karena peserta didik yang mengalami stres dan kecemasan cenderung beralih ke strategi *surface Learning*, sementara peserta didik yang merasa enjoy dan termotivasi akan lebih terbuka untuk engage secara mendalam dengan materi (Dewi et al., 2025).

2.1.6 Materi Sistem Pernapasan Manusia

2.1.6.1 Tinjauan Umum Sistem Pernapasan

Sistem pernapasan manusia merupakan salah satu sistem organ yang dipelajari dalam kurikulum biologi kelas XI yang memiliki peran vital dalam menjaga kelangsungan hidup manusia. Sistem ini terdiri dari organ-organ yang bekerja secara terkoordinasi untuk mengambil oksigen dari udara dan mengeluarkan karbondioksida sebagai produk limbah metabolisme. Organ-organ pernapasan mencakup saluran pernapasan bagian atas (hidung, faring, laring) dan saluran pernapasan bagian bawah (trakea, bronkus, bronkiolus, alveolus), serta organ pendukung seperti diafragma dan otot *interkostal* (Sherwood, 2021).

Pemahaman tentang sistem pernapasan penting tidak hanya untuk pengetahuan biologi dasar, tetapi juga untuk kesehatan dan kualitas hidup peserta didik. Dalam kehidupan sehari-hari, peserta didik menghadapi berbagai isu yang berkaitan dengan sistem pernapasan, seperti kualitas udara di lingkungan mereka, penyakit pernapasan seperti asma dan COVID-19, dampak paparan asap rokok terhadap kesehatan paru, serta pentingnya olahraga untuk meningkatkan kapasitas paru. Konteks-konteks ini menyediakan kesempatan yang baik untuk mengaitkan

pembelajaran di kelas dengan pengalaman hidup peserta didik, yang merupakan salah satu ciri utama *Meaningful Learning*.

1. Volume dan Kapasitas Paru-Paru

Volume dan kapasitas paru-paru merupakan parameter penting untuk memahami fungsi sistem pernapasan. Terdapat beberapa jenis volume dan kapasitas paru-paru yang perlu dipahami dalam pembelajaran ini.

2. Volume Tidal (*Tidal Volume/TV*)

Volume tidal adalah volume udara yang dihirup atau dihembuskan dalam satu pernapasan normal saat istirahat. Nilai rata-rata volume tidal pada orang dewasa adalah sekitar 500 mL atau 0,5 liter. Volume ini dapat meningkat saat aktivitas fisik atau olahraga. Dalam konteks pembelajaran, peserta didik dapat membandingkan volume tidal mereka sendiri dengan nilai standar dan memahami bagaimana kebutuhan oksigen berubah sesuai dengan aktivitas (Pellico et al., 2022).

3. Cadangan Inspirasi (*Inspiratory Reserve Volume/IRV*)

Cadangan inspirasi adalah volume udara ekstra yang masih dapat dihirup setelah inspirasi tidal normal. Nilai rata-rata sekitar 2.500-3.000 mL pada orang dewasa. Volume ini menunjukkan kapasitas paru-paru untuk mengambil oksigen tambahan saat dibutuhkan, seperti saat berlari atau mengangkat beban berat.

4. Cadangan Ekspirasi (*Expiratory Reserve Volume/ERV*)

Cadangan ekspirasi adalah volume udara ekstra yang masih dapat dihembuskan setelah ekspirasi tidal normal. Nilai rata-rata sekitar 1.000-1.200 mL. Volume ini dapat diukur menggunakan *Spiro Tech DIY* karena peserta didik menghembuskan napas sekuat-kuatnya setelah napas normal.

5. Volume Residu (*Residual Volume/RV*)

Volume residu adalah volume udara yang tersisa di paru-paru setelah menghembuskan napas sekuat-kuatnya. Nilai rata-rata sekitar 1.200 mL. Volume ini penting untuk menjaga paru-paru tetap mengembang dan memungkinkan

pertukaran gas terus berlangsung. Volume residu tidak dapat diukur dengan spirometri konvensional karena udara tersebut tidak dapat dihembuskan keluar.

6. Kapasitas Vital (*Vital Capacity/VC*)

Kapasitas vital adalah jumlah total udara yang dapat dihembuskan setelah menghirup napas sekuat-kuatnya, yang merupakan jumlah dari volume tidal, cadangan inspirasi, dan cadangan ekspirasi. Nilai kapasitas vital rata-rata pada orang dewasa sekitar 4.600-4.800 mL. Kapasitas vital merupakan indikator penting fungsi paru-paru yang dapat diukur dengan *Spiro Tech DIY*.

1) Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fungsi Pernapasan

Pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi pernapasan sangat penting untuk membuat pembelajaran menjadi bermakna (*Meaningful*) bagi peserta didik kelas XI. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi kapasitas vital paru-paru meliputi:

a. Usia

Kapasitas vital paru-paru mencapai puncaknya pada usia sekitar 20-25 tahun kemudian secara gradual menurun seiring bertambahnya usia. Penurunan ini terjadi karena penurunan elastisitas jaringan paru-paru dan kekuatan otot pernapasan. Bagi peserta didik kelas XI (usia sekitar 16-17 tahun), kapasitas paru-paru mereka masih dalam fase pertumbuhan dan dapat ditingkatkan melalui aktivitas fisik teratur.

b. Jenis Kelamin

Secara umum, kapasitas vital paru-paru lebih besar pada laki-laki dibandingkan perempuan dengan tinggi badan yang sama. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh perbedaan ukuran tubuh dan hormon. Namun, dengan pelatihan yang tepat, perempuan dapat mencapai kapasitas paru yang optimal untuk ukuran tubuhnya.

c. Tinggi Badan

Tinggi badan berkorelasi positif dengan kapasitas vital paru-paru karena paru-paru lebih besar pada individu yang lebih tinggi. Rumus perkiraan kapasitas vital sering menggunakan tinggi badan sebagai variabel utama.

d. Aktivitas Fisik/Olahraga

Olahraga teratur, terutama olahraga *aerobic* seperti lari, berenang, dan bersepeda, dapat meningkatkan kapasitas vital paru-paru. Mekanisme peningkatan ini meliputi penguatan otot pernapasan, peningkatan elastisitas jaringan paru, dan perbaikan efisiensi pertukaran gas.

e. Paparan Asap Rokok

Paparan asap rokok memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap fungsi paru-paru. Zat-zat beracun dalam asap rokok merusak jaringan paru-paru, mengurangi elastisitas alveolus, dan menyebabkan penyempitan saluran pernapasan. Orang yang terpapar asap rokok memiliki kapasitas vital yang lebih rendah dan risiko lebih tinggi terhadap penyakit paru obstruktif kronis.

f. Kualitas Udara Lingkungan

Paparan terhadap polutan udara seperti *Particulate Matter* (PM), Ozon (O₃), Nitrogen Dioksida (NO₂), dan Sulfur Dioksida (SO₂) dapat merusak fungsi paru-paru. SMAN 1 Ciparay yang berada di wilayah dengan aktivitas transportasi dan industri lokal menjadikan topik ini sangat relevan bagi peserta didik di sekolah tersebut.

2.2 Penelitian Sebelumnya Yang Relevan

Berdasarkan penelusuran literatur yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini:

2.2.1 Penelitian Pertama

Penelitian yang dilakukan oleh Handayani dan Wardani (2023) berjudul “Implementasi pendekatan STEAM untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan kreativitas peserta didik SMA dalam pembelajaran biologi” bertujuan untuk menyelidiki penerapan pendekatan STEAM dalam pembelajaran biologi di tingkat sekolah menengah atas. Dengan menggunakan desain *quasi-eksperimental*,

para peneliti menemukan bahwa pendekatan STEAM efektif dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan kreativitas peserta didik dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional. Penelitian ini melibatkan 120 peserta didik dari dua SMA di Bandung dan menggunakan instrumen termasuk tes pemecahan masalah, penilaian kreativitas, dan lembar observasi.

2.2.2 Penelitian Kedua

Nurhayati, Wardani, dan Kusuma (2023) dengan penelitian berjudul "Efektivitas penggunaan E-LKPD dalam pembelajaran sains terhadap hasil belajar dan keterampilan proses sains peserta didik" yang dimuat dalam Jurnal Pendidikan IPA Indonesia. Penelitian ini menggunakan desain *quasi-experiment* dengan sampel 80 peserta didik SMP di kota Semarang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan E-LKPD interaktif secara signifikan meningkatkan hasil belajar kognitif dan keterampilan proses sains peserta didik dibandingkan dengan penggunaan LKPD konvensional.

2.2.3 Penelitian Ketiga

Fatmawati, Mardiyana, dan Pramudya (2024) dengan judul "*Enhancing biology Learning retention through STEAM-integrated instruction: A quasi-experimental study*" in the *Journal of Education and Learning*. Penelitian ini melibatkan 150 peserta didik SMA di Jawa Tengah dan mengukur retensi pembelajaran biologi setelah implementasi pembelajaran terintegrasi STEAM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan STEAM secara signifikan meningkatkan retensi pengetahuan biologi peserta didik dalam jangka panjang, terutama pada materi yang kompleks seperti sistem organ.

2.2.4 Penelitian Keempat

Rahman dan Hartati (2024) *conducted research titled* "Pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis STEAM untuk meningkatkan literasi sains peserta didik SMA" yang dimuat dalam Jurnal Teknologi Pembelajaran. Penelitian ini mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis STEAM menggunakan *software Articulate Storyline* dan mengujicobakan efektivitasnya dalam

meningkatkan literasi sains peserta didik. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan literasi sains yang signifikan pada kelompok eksperimen.

2.2.5 Penelitian Kelima

Lestari dan Saputri (2023) dengan penelitiannya yang berjudul "Penggunaan media simulasi virtual dalam pembelajaran sistem pernapasan untuk meningkatkan pemahaman konseptual peserta didik" yang dimuat dalam Jurnal Pendidikan Biologi. Penelitian ini menggunakan desain *pre-experimental* dengan melibatkan 60 peserta didik kelas XI SMA di Surabaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media simulasi virtual meningkatkan pemahaman konseptual peserta didik tentang mekanisme pernapasan secara signifikan.

2.2.6 Sintesis Penelitian Relevan

Berdasarkan review terhadap lima penelitian terdahulu di atas, dapat diidentifikasi bahwa penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Kebaruan tersebut meliputi: (1) integrasi pendekatan STEAM secara utuh dengan elemen *Art* dalam E-LKPD untuk materi sistem pernapasan, (2) pengembangan *Spiro Tech DIY* sebagai media praktikum sederhana yang memungkinkan peserta didik mengukur kapasitas vital paru-paru secara langsung, (3) pengukuran pembelajaran mendalam secara komprehensif melalui indikator *Joyful, Meaningful, dan Mindful Learning*, serta (4) implementasi di tingkat SMA kelas XI dengan fokus pada konteks lokal SMAN 1 Ciparay yang memiliki karakteristik khusus terkait dengan kualitas udara lingkungan.

2.2.7 Pembaharuan Penelitian

Kebaruan (*novelty*) dalam penelitian ini diidentifikasi melalui celah konseptual dan praktis yang ditemukan pada berbagai penelitian terdahulu. Berbeda dengan kajian ilmiah yang dilakukan oleh Handayani dan Wardani (2023) serta Fatmawati et al. (2024) yang cenderung mengkaji pendekatan STEAM secara parsial untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, kreativitas, atau retensi jangka panjang peserta didik, penelitian ini mengalihkan fokus pada

kompetensi spesifik yang lebih mendasar dalam sains modern. Selain itu, ketika penelitian lain membatasi penggunaan media digital E-LKPD hanya pada ruang lingkup keterampilan proses sains dan pemahaman literasi sains secara umum (Nurhayati et al., 2023; Rahman & Hartati, 2024), atau sekadar mengandalkan visualisasi pasif lewat simulasi virtual pada materi pernapasan (Lestari & Saputri, 2023), belum ada desain instruksional yang secara khusus menguji bagaimana penalaran numerik biologi peserta didik dapat distimulus secara nyata melalui intervensi media yang terpadu.

Oleh karena itu, kebaruan utama dalam penelitian ini terletak pada penciptaan sebuah ekosistem instruksional hibrida yang secara utuh mengawinkan platform digital E-LKPD berbasis STEAM dengan rekayasa fisik mandiri melalui produk *Spiro Tech DIY* di bawah payung pendekatan Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*). Melalui integrasi ini, pembelajaran sistem pernapasan tingkat SMA tidak lagi dihadapi secara superfisial melainkan melalui iklim belajar yang berkesadaran (*Mindful*), bermakna (*Meaningful*), dan menggembirakan (*joyful*). Kehadiran produk *Spiro Tech DIY* berhasil mentransformasikan rumus-rumus volume biologis yang awalnya abstrak menjadi data klinis empiris yang diproduksi, divalidasi ketelitian skalanya, serta dianalisis secara mandiri oleh peserta didik, sehingga menghasilkan suatu model pembaruan desain pembelajaran biologi yang belum pernah dieksplorasi oleh kelima penelitian rujukan tersebut demi mendongkrak kemampuan literasi kuantitatif peserta didik.

2.3 Kerangka Berpikir

2.3.1 Alur Logika Penelitian

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh beberapa problematika yang teridentifikasi dalam pembelajaran biologi, khususnya pada materi sistem pernapasan manusia di tingkat SMA. Problematika pertama adalah pembelajaran yang hanya terfokus pada tingkat hafalan tanpa pemahaman konseptual yang mendalam (*surface Learning*), di mana peserta didik cenderung menghafal istilah-istilah biologi tanpa memahami mekanisme dan hubungan antar konsep. Problematika kedua adalah keterbatasan fasilitas laboratorium untuk melakukan

praktikum yang representatif, khususnya spirometer digital yang mahal dan tidak tersedia dalam jumlah yang memadai untuk seluruh peserta didik. Problematika ketiga adalah kurangnya integrasi pendekatan STEAM dalam pembelajaran biologi yang memadai, terutama elemen *Engineering* dan Art yang sering diabaikan.

Berdasarkan problematika tersebut, penelitian ini mengembangkan solusi berupa implementasi E-LKPD berbasis STEAM dengan pemanfaatan media *Spiro Tech DIY*. E-LKPD yang dikembangkan mengintegrasikan lima elemen STEAM secara sistematis. E-LKPD mengandung konten multimedia yang membantu peserta didik memvisualisasikan sistem pernapasan, menyediakan simulasi interaktif untuk mengeksplorasi konsep, dan menyertakan alat penilaian yang memberikan umpan balik langsung untuk mendukung pembelajaran mendalam.

Solusi utama yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah pengembangan dan penerapan *Spiro Tech DIY* sebagai alat praktikum sederhana yang dibuat sendiri oleh peserta didik. *Spiro Tech DIY* dibuat dari material bekas seperti galon air mineral dan ember plastik dengan prinsip kerja perpindahan air (water displacement). Melalui aktivitas perakitan dan penggunaan *Spiro Tech DIY*, peserta didik tidak sekedar membaca tentang volume dan kapasitas paru-paru, tetapi mengalami sendiri proses pengukuran kapasitas vital mereka sendiri. Pengalaman langsung ini menciptakan pemahaman yang lebih bermakna dan mendalam karena peserta didik terlibat secara aktif dalam proses konstruksi pengetahuan.

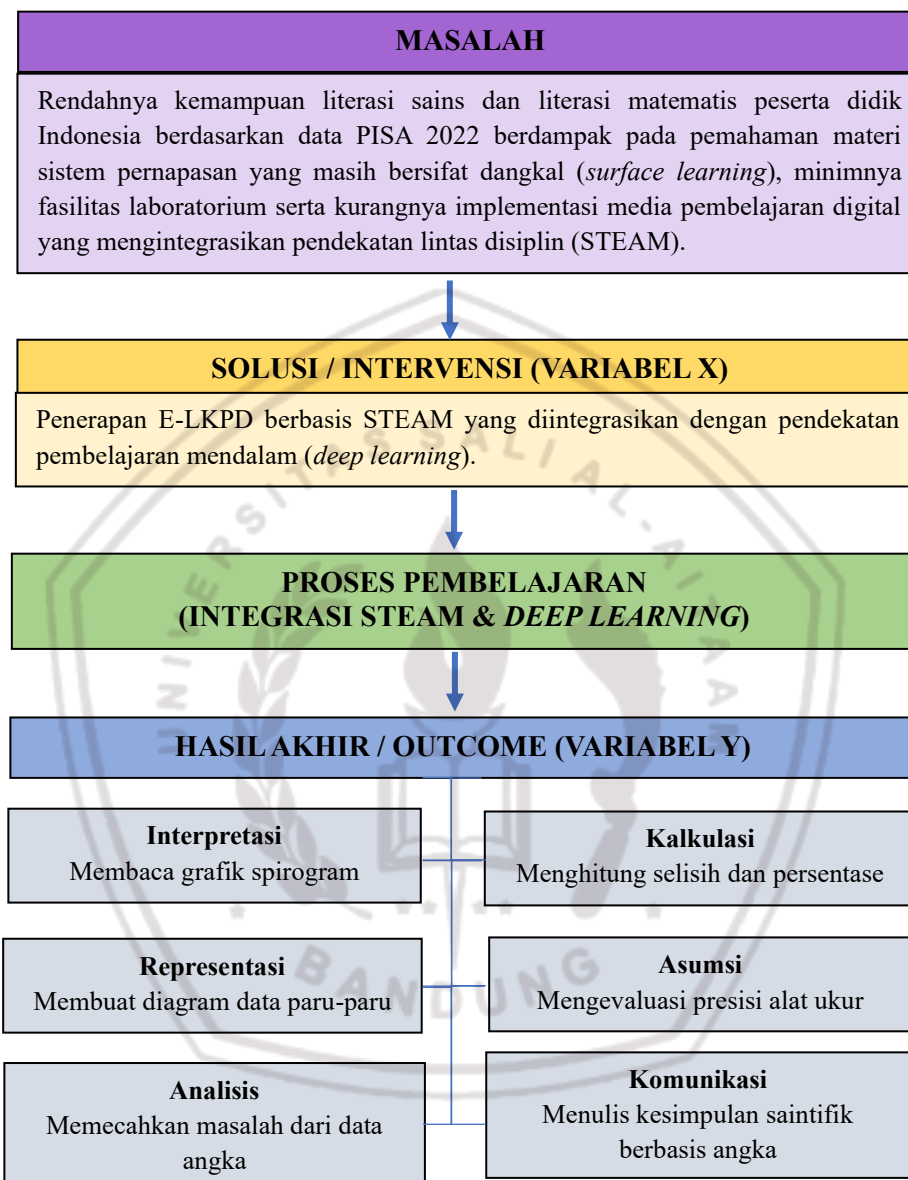
Proses pembelajaran dimulai dengan peserta didik mengakses E-LKPD yang menyajikan materi sistem pernapasan secara interaktif. Kemudian, peserta didik merakit *Spiro Tech DIY* secara kelompok dengan bimbingan guru. Setelah alat selesai dirakit, peserta didik melakukan pengukuran kapasitas vital paru-paru mereka sendiri menggunakan alat yang telah mereka buat. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan diinterpretasikan oleh peserta didik dalam kelompok, di mana mereka menghubungkan hasil pengukuran dengan konsep yang dipelajari di E-LKPD. Akhirnya, peserta didik mempresentasikan temuan mereka dan merefleksikan pengalaman belajar.

Hasil akhir yang diharapkan dari penelitian ini adalah terciptanya pembelajaran mendalam (*deep Learning*) yang ditandai oleh tiga indikator utama. Pertama, *Joyful Learning* tercipta ketika peserta didik enjoy dalam proses pembelajaran, merasa bebas dari tekanan, dan memiliki motivasi intrinsik untuk belajar. Kedua, *Meaningful Learning* tercipta ketika peserta didik dapat mengaitkan konsep yang dipelajari dengan kehidupan nyata, khususnya faktor-faktor yang mempengaruhi kesehatan sistem pernapasan seperti kualitas udara di lingkungan mereka. Ketiga, *Mindful Learning* tercipta ketika peserta didik fokus dalam menganalisis data eksperimen mereka secara teliti dan kritis.



2.3.2 Kerangka Berpikir

Gambar 2.1 Bagan Alur Kerangka Berpikir Penelitian



2.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan kerangka pemikiran yang telah diuraikan, penelitian ini mengajukan hipotesis sebagai jawaban sementara yang akan diuji secara statistik pada Bab IV. Mengingat pengujian inferensial difokuskan pada efektivitas peningkatan kemampuan komparatif antar kelompok perlakuan,

hipotesis penelitian ini disusun secara sistematis dan simetris ke dalam dua bentuk, yaitu hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_a) sebagai berikut:

1. H_0 (Hipotesis Nol): Tidak terdapat perbedaan peningkatan literasi kuantitatif yang signifikan antara peserta didik yang menggunakan E-LKPD berbasis STEAM (kelas eksperimen) dengan peserta didik yang menggunakan pembelajaran konvensional (kelas kontrol) pada materi Sistem Pernapasan kelas XI SMAN 1 Ciparay.
2. H_a (Hipotesis Alternatif): Terdapat perbedaan peningkatan literasi kuantitatif yang signifikan antara peserta didik yang menggunakan E-LKPD berbasis STEAM (kelas eksperimen) dengan peserta didik yang menggunakan pembelajaran konvensional (kelas kontrol) pada materi Sistem Pernapasan kelas XI SMAN 1 Ciparay.

Hipotesis alternatif (H_a) yang menyatakan terdapat perbedaan peningkatan yang signifikan merupakan dugaan yang diharapkan dapat dibuktikan melalui rangkaian analisis data *Independent Samples T-Test* dan indeks *N-Gain*. Jika H_a diterima, maka secara empiris perlakuan berupa implementasi E-LKPD berbasis STEAM terbukti efektif secara signifikan dalam meningkatkan kemampuan literasi kuantitatif peserta didik dibandingkan dengan model pembelajaran konvensional. Sebaliknya, jika H_0 diterima, hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan penggunaan E-LKPD berbasis STEAM diberikan tidak memberikan dampak perbedaan yang nyata terhadap capaian kompetensi literasi kuantitatif peserta didik.