

BAB 2 TINJAUAN TEORITIS

2.1. Deskripsi Teori

2.1.1. Bahan Ajar

Bahan ajar merupakan kumpulan materi atau konten pembelajaran yang disusun secara sistematis yang digunakan oleh pendidik dan peserta didik dalam kegiatan belajar mengajar (Suwartaya et al 2020). Menurut Hidayati et al (2023) bahan ajar adalah bagian dari media pembelajaran yang diartikan sebagai segala bentuk atau alat yang dikembangkan secara sistematis untuk digunakan dalam proses pembelajaran agar pembelajaran dapat berlangsung secara efektif dan efisien. Bahan ajar disusun secara sistematis, artinya tersusun secara teratur agar mempermudah peserta didik dalam proses pembelajaran (Arnita et al., 2021). Beberapa jenis bahan ajar mencakup bahan ajar dalam bentuk non-cetak seperti audio, video, dan multimedia interaktif sedangkan bahan ajar cetak seperti *handout*, buku, LKS dll.

Dari beberapa pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa bahan ajar merupakan perangkat pembelajaran yang biasa digunakan oleh pendidik dan peserta didik untuk memudahkan proses pembelajaran dan bentuknya dapat berupa cetak dan noncetak.

2.1.2. Modul

2.1.2.1 Pengertian Modul

Modul merupakan suatu bahan ajar yang disusun secara cetak dan dikemas secara sistematis serta menarik sehingga mudah dipahami (Arnita et al., 2021). Menurut Sirate & Ramadhana (2017) modul merupakan bentuk bahan ajar yang dirancang secara menyeluruh dan sistematis berdasarkan kurikulum dan dikemas dalam unit pembelajaran terkecil dan dibuat agar dapat dipelajari secara mandiri dalam satuan waktu tertentu agar peserta didik dapat menguasai kompetensi yang ditetapkan dalam tujuan pembelajaran. konsep tersebut sejalan dengan penelitian Zulfi Hidayati & Muh. Asharif Suleman (2025) bahwa penggunaan e-modul sebagai bahan ajar mandiri secara signifikan dapat meningkatkan pemahaman belajar peserta didik.

Menurut junaedi et al (2022) menegaskan bahwa modul harus disusun secara sistematis dan dirancang sedemikian rupa dengan bahasa yang mudah dipahami untuk mendukung pembelajaran mandiri meskipun dengan bimbingan minimal dari pendidik. Berdasarkan beberapa pendapat yang telah diuraikan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa modul merupakan bahan ajar yang dirancang secara sistematis dan didalamnya berisi materi, metode, batasan-batasan, dan kegiatan evaluasi yang dirancang untuk dipelajari secara mandiri oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan.

Dengan demikian, modul bukan hanya sarana pembelajaran mandiri yang sistematis dan utuh, tetapi juga terbukti efektif meningkatkan penguasaan kompetensi peserta didik, termasuk dalam format digital (e-modul), yang mendukung estimasi peserta didik atas pencapaian tujuan pembelajaran.

2.1.2.2 Tujuan Modul

Menurut Surya (2008), penulisan modul memiliki tujuan adalah sebagai berikut:

- a. Membantu memperjelas dan mempermudah penyampaian pesan agar tidak terlalu dominan secara verbal.
- b. Dapat dimanfaatkan secara efektif dan beragam, misalnya untuk meningkatkan motivasi serta semangat belajar, mengembangkan keterampilan berinteraksi langsung dengan lingkungan dan berbagai sumber belajar lainnya, sehingga memungkinkan peserta didik belajar secara mandiri sesuai dengan kemampuan dan minatnya.
- c. Memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk melakukan penilaian atau evaluasi terhadap hasil belajarnya sendiri.

2.1.2.3 Manfaat Modul

Menurut Sirate & Ramadhana (2017) belajar menggunakan modul banyak manfaatnya, diantaranya sebagai berikut:

- a. Peserta didik memiliki tanggung jawab atas aktivitas belajarnya sendiri.
- b. Pembelajaran menggunakan modul memberikan penghargaan terhadap keberagaman individu.
- c. Peserta didik dapat menyesuaikan proses belajar dengan tingkat kemampuannya masing-masing.

d. Proses pembelajaran menjadi lebih efisien dan berjalan dengan lebih efektif.

2.1.3. Modul Elektronik

2.1.3.1. Pengertian E-Modul

Secara umum, E-modul memiliki pengertian, tujuan dan manfaat yang sama dengan modul. Namun, E-modul disajikan dalam bentuk elektronik yang dalam penyajiannya menggunakan perangkat seperti komputer, *smartphone* dan laptop. E-modul adalah sumber belajar yang dirancang secara terstruktur guna mencapai tujuan pembelajaran tertentu, disajikan dalam format digital, dan dapat diakses secara mandiri oleh peserta didik (Chaerunisa et al., 2023). Selain itu, e-modul mampu menyajikan teks, gambar, animasi, serta video melalui perangkat elektronik seperti komputer, ponsel, tablet, dan sebagainya (Ketut Erawati et al., 2022). Demikian pula, Yanindah & Novisitia (2021) menegaskan bahwa Penyajian materi pembelajaran dalam bentuk elektronik yang didukung oleh komponen multimedia menjadikan proses belajar lebih menarik dan interaktif, sehingga mempermudah peserta didik dalam memahami konsep secara lebih mendalam.

Dari beberapa pendapat yang telah dipaparkan di atas dapat disimpulkan bahwa E- Modul adalah serangkaian kegiatan yang disajikan dalam bentuk elektronik terdiri dari teks, gambar, animasi serta disusun secara sistematis meliputi materi pembelajaran, media, dan evaluasi untuk mencapai tujuan pembelajaran tertentu. Dengan adanya e-modul, diharapkan dapat membuat proses pembelajaran berlangsung lebih efektif dan efisien, serta mampu menunjang interaksi antara pendidik dan peserta didik.

Adapun menurut Nurmilah & Sulistyaningsih (2023) mengatakan bahwa e-modul yang dapat membantu peserta didik memahami materi pembelajaran dan efektif dalam meningkatkan hasil belajar yaitu modul yang dilengkapi kegiatan praktikum. Selain itu, e-modul dapat disimpan di flashdisk, mudah dibawa ke mana saja, dapat diakses tanpa koneksi internet, serta memungkinkan untuk dipelajari kapan saja dan di mana saja, sekaligus membantu menyimpan materi dalam ingatan jangka panjang. Perbedaan antara modul cetak dan modul elektronik disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Antara Modul Cetak dan E-modul

E-modul	Modul Cetak
Format elektronik (dapat berupa file, doc, exe.swf, dll)	Berbentuk cetak (kertas)
Ditampilkan menggunakan perangkat elektronik dan <i>software</i> khusus (Laptop, Pc, Hp, Internet)	Tampilannya berupa kumpulan kertas yang tercetak
Lebih praktis dan efisien dibawa kemana-mana	Kurang praktis untuk dibawa kemana-mana
Biaya produksi lebih murah	Biaya produksi lebih mahal
Tahan lama dan tidak akan lapuk dimakan waktu	Daya tahan kertas terbatas oleh waktu
Menggunakan sumber daya listrik	Tidak perlu sumber daya khusus untuk menggunakannya
Dapat dilengkapi dengan multimedia	Tidak dapat dilengkapi dengan multimedia

Sumber: (Mutmainnah et al., 2021)

2.1.3.2. Karakteristik E-Modul

Menurut Direktorat Inovasi dan Pengembangan Pendidikan (2020) dalam panduan penulisan modul, sebuah modul dapat dikatakan baik dan menarik apabila terdapat karakteristik berikut ini:

a. Self Instruction

Modul perlu dirancang agar memungkinkan seseorang belajar secara mandiri tanpa bergantung pada pihak lain. Oleh karena itu modul harus memiliki karakteristik *Self Instruction* sebagai berikut

1. Menyajikan tujuan pembelajaran yang jelas serta mampu mencerminkan capaian dan sasaran pembelajaran.
2. Menyediakan materi ajar yang disusun dalam unit-unit kecil atau spesifik guna memudahkan peserta didik dalam memahami materi secara menyeluruh..
3. Dilengkapi dengan contoh dan ilustrasi yang mendukung penjelasan materi agar lebih mudah dipahami.
4. Mencantumkan latihan soal, tugas, atau sejenisnya yang memungkinkan pendidik menilai tingkat pemahaman peserta didik terhadap materi.
5. Bersifat kontekstual, yaitu materi yang disampaikan berkaitan dengan situasi, tugas, aktivitas, maupun lingkungan peserta didik..
6. Menggunakan bahasa yang mudah dipahami dan bersifat komunikatif.
7. Menyediakan rangkuman materi pembelajaran sebagai penguatan pemahaman.

8. Memuat instrumen penilaian atau assessment yang memungkinkan peserta didik melakukan penilaian mandiri (self-assessment)
9. Menyediakan umpan balik terhadap hasil penilaian peserta didik agar mereka dapat mengetahui sejauh mana penguasaan terhadap materi.
10. Memberikan informasi berupa referensi, pengayaan, atau sumber tambahan yang mendukung materi pembelajaran.

b. *Self Contained*

Modul harus mencakup semua materi pembelajaran yang dibutuhkan. Tujuan dari konsep ini adalah agar peserta didik memiliki kesempatan untuk mempelajari materi secara komprehensif, karena seluruh isi pembelajaran disajikan dalam satu kesatuan yang utuh..

c. *Stand Alone*

Modul bersifat mandiri dan tidak bergantung pada bahan ajar atau media lainnya, artinya modul dapat digunakan tanpa harus disertai dengan sumber belajar tambahan. Dengan menggunakan modul, peserta didik dapat mempelajari materi dan menyelesaikan tugas yang ada tanpa memerlukan bahan ajar lain.

d. *Adaptif*

Modul sebaiknya memiliki tingkat adaptivitas yang tinggi terhadap kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Suatu modul dikatakan adaptif apabila mampu menyesuaikan diri dengan perkembangan IPTEK dan dapat digunakan secara fleksibel. Mengingat pesatnya perkembangan ilmu dan teknologi, maka modul multimedia perlu terus diperbarui. Modul yang adaptif adalah modul yang materi pembelajarannya tetap relevan dan dapat digunakan dalam jangka waktu tertentu.

e. *User Friendly*

Modul sebaiknya dirancang agar ramah terhadap penggunanya. Setiap petunjuk dan informasi yang disajikan harus bersifat membantu serta mudah dipahami oleh pengguna, termasuk kemudahan dalam merespons dan mengakses sesuai kebutuhan. Penggunaan bahasa yang sederhana, mudah dipahami, serta memakai istilah yang umum dikenal merupakan ciri dari modul yang user friendly. Selain itu, tampilan gambar dan format penyajian juga perlu disesuaikan dengan preferensi peserta didik.

2.1.3.3. Komponen E-Modul

Menurut Kemendikbud (2017) komponen yang harus ada dalam e-modul adalah sebagai berikut.

- a. *Cover*, dalam *cover* berisi judul modul, nama mata pelajaran, topik/materi pembelajaran, kelas, penulis dan logo sekolah.
- b. Kata pengantar, dalam kata pengantar memuat informasi seputar peran e-modul dalam proses pembelajaran.
- c. Daftar isi, memuat kerangka (*outline*) modul
- d. Glosarium, dalam glosarium memuat penjelasan mengenai arti dari istilah atau kata-kata sulit dan asing yang digunakan.
- e. Pendahuluan, dalam pendahuluan berisikan:
 - Kompetensi Dasar (KD) dan Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) yang akan dipelajari pada modul.
 - Deskripsi yang menjelaskan nama dan ruang lingkup isi modul. Kaitan modul dengan modul lainnya, hasil belajar yang ingin dicapai serta manfaat kompetensi yang ingin dicapai dalam proses pembelajaran dan kehidupan.
 - Jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menguasai kompetensi yang ditargetkan.
 - Prasyarat (jika ada), seperti kemampuan awal yang harus dimiliki sebelum mempelajari modul.
 - Petunjuk penggunaan modul yang memuat panduan dalam menggunakan modul, seperti langkah-langkah yang harus dilakukan, perlengkapan yang harus dipersiapkan dan pernyataan tujuan yang hendak dicapai oleh peserta didik.
- f. Kegiatan Pembelajaran, berisi:
 - Kegiatan pembelajaran 1 yang disertai dengan keterangan akan sub-judul, informasi mengenai tujuan pembelajaran, uraian materi, rangkuman, tugas (instruksi dalam tugas bertujuan untuk menguatkan pemahaman terhadap materi yang dipelajari, misalnya kegiatan observasi, studi kasus atau kajian materi).
 - Lembar kerja keterampilan yang memuat prosedur atau tugas untuk melatih keterampilan dari KD yang ditetapkan. Latihan yang digunakan untuk

mengetahui sejauh mana penguasaan peserta didik terhadap materi yang dipelajari.

- Penilaian diri yang memberikan kesempatan bagi peserta didik untuk menilai kemampuannya.
 - Kegiatan pembelajaran 2 dan atau seterusnya dengan tata cara yang sama dengan kegiatan pembelajaran 1 namun berbeda dalam topik pembahasan.
- g. Evaluasi, dimana teknik atau metode yang digunakan disesuaikan dengan ranah yang dinilai serta indikator pencapaian yang diacu.
- Tes kompetensi pengetahuan.
 - Tes kompetensi keterampilan.
 - Penilaian sikap.
- h. Kunci jawaban dan pedoman penskoran yang berisi jawaban atas pertanyaan dari tugas latihan dan tes akhir modul, yang dilengkapi dengan kriteria penilaian pada setiap tes.
- i. Daftar pustaka yang memuat referensi yang digunakan dalam penyusunan modul.
- j. Lampiran yang berisi daftar tabel dan daftar gambar.

2.1.3.4. Kelebihan dan Kekurangan E-Modul

Menurut Najuah et al (2014) terdapat kelebihan dari sebuah e-modul diantaranya:

- a. Dapat meningkatkan belajar dan motivasi peserta didik.
- b. Pendidik dan peserta didik setelah melakukan evaluasi mengetahui hasil capaian pembelajaran.
- c. Bahan pembelajaran terbagi lebih merata dalam satu semester.
- d. Pendidikan lebih berdaya guna, karena bahan pelajaran disusun menurut jenjang akademik.
- e. Penyajian materi lebih interaktif dan dinamis.

Adapun kekurangan e-modul menurut Najuah et al (2014) adalah sebagai berikut.

- a. Terdapat biaya pengembangan bahan ajar yang cukup tinggi dan waktu yang dibutuhkan lebih lama.

- b. Sulit mendeskripsikan belajar siswa, terdapat kemungkinan para siswa kurang memiliki disiplin belajar.
- c. Membutuhkan ketekunan dari fasilitator untuk terus menerus memantau proses belajar, memberi motivasi dan konsultasi secara individu kepada peserta didik

2.1.4. Model *Experiential Learning*

2.1.4.1 Pengertian Model *Experiential Learning*

Model *experiential learning* pertama kali diusulkan oleh David Kolb tahun 1984 dalam bukunya yang berjudul” *Experiential Learning, experience as The Source of Learning and Development*”. Menurut Hidayati et al (2023) model *experiential learning* merupakan pembelajaran berbasis pengalaman, yang akan mengarahkan siswa menemukan konsep-konsep yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari. Selain itu, menurut Sukahar et al (2023) *experiential learning* merupakan model yang dipusatkan pada peserta didik yang dimulai dengan landasan pemikiran bahwa cara belajar terbaik itu dari sebuah pengalaman. Oleh karena itu, model ini akan bermakna ketika peserta didik berperan aktif dalam melakukan kegiatan dan peserta didik dapat mengamati dan memahami dengan kritis serta menuangkannya dalam bentuk lisan atau tulisan sesuai dengan konsep pada materi. Dalam hal ini *experiential learning* menggunakan pengalaman sebagai dorongan untuk membantu peserta didik dalam mengembangkan kapasitas dan kemampuannya dalam proses pembelajaran.

2.1.4.2 Langkah-langkah Model *Experiential Learning*

Menurut Kolb et al (2015) model *experiential learning* terdiri dari empat tahap, yaitu *Concrete Experience*, *Reflective Observation*, *Abstract Conceptualization*, dan *Active Experimentation*

a. *Concrete Experience (feeling)*

Tahap ini merupakan tahap belajar melalui intuisi dengan menekankan pengalaman personal, mengalami dan merasakan misalnya dengan diskusi kelompok kecil memberikan video sesuai pengalaman yang ada dalam kehidupan sehari-hari atau langsung mempraktekannya.

b. *Reflective Observation*

Pada tahap ini peserta didik mengamati hasil dari pengalaman yang telah dilakukannya dari berbagai sudut pandang secara refleksi langsung untuk

memperoleh suatu makna. Peserta didik mengaitkan bagaimana sesuatu itu bisa terjadi dengan melihat perspektif yang berbeda dan mengandalkan pada suatu pemikiran.

c. *Abstract Conceptualization*

Peserta didik mengonseptualisasi dengan mengintegrasikan atau menggabungkan hasil pengamatan serta refleksi yang telah dilakukan sebelumnya sehingga memunculkan ide-ide atau konsep-konsep yang logis dan mudah dipahami.

d. *Active Experimentation*

Peserta didik membuat percobaan (eksperimen) atas teori-teori yang dihasilkan sebelumnya ke dalam konteks kehidupan nyata untuk dijadikan keputusan dalam memecahkan masalah.

Adapun untuk langkah-langkah kegiatan model *experiential learning* disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Langkah-langkah kegiatan model *experiential learning*

Tahap	Kegiatan	
	Guru	Peserta didik
<i>Concrete experience</i>	Guru memfasilitasi peserta didik untuk melibatkan diri sepenuhnya dalam suatu peristiwa yang sesuai dengan materi untuk dijadikan stimulus berdasarkan pengalamannya.	Peserta didik melibatkan diri sepenuhnya dalam suatu peristiwa yang sesuai dengan materi berdasarkan pengalamannya.
<i>Reflective Observation</i>	Guru mengakomodasi dan membimbing peserta didik dalam melakukan pengamatan dan merefleksikan atau memikirkan pengalaman dari berbagai aspek yang berbeda.	Peserta didik melakukan pengamatan dan merefleksikan atau memikirkan pengalaman dari berbagai aspek yang berbeda.
<i>Abstract Conceptualization</i>	Guru mengarahkan peserta didik untuk mengintegrasikan hasil pengamatannya menjadi sebuah teori dan merumuskan konsep.	Peserta didik merumuskan konsep-konsep yang mengintegrasikan pengamatannya menjadi sebuah teori.
<i>Active Experimentation</i>	Guru mengarahkan peserta didik menggunakan teori	Peserta didik menggunakan teori untuk memecahkan

Tahap	Kegiatan	
	Guru	Peserta didik
	untuk memecahkan kasus-kasus dan mengambil keputusan dengan melakukan eksperimen berdasarkan pengalaman.	kasus-kasus dan mengambil keputusan dengan melakukan eksperimen berdasarkan pengalaman.

2.1.4.3 Kelebihan dan kekurangan Model *Experiential Learning*

Kelebihan model *experiential learning* menurut Fathurrohman (2006) yaitu:

- Meningkatkan rasa percaya diri, kerjasama, kemampuan dalam berkomunikasi, merencanakan serta memecahkan permasalahan
- Menumbuhkan kemampuan peserta didik dalam menghadapi situasi buruk serta menemukan solusi dari masalah yang dihadapi, dan dapat mengambil keputusan dalam kelompok.
- Meningkatkan kemampuan peserta didik dalam berkomitmen, bertanggungjawab terhadap semua hal yang dilakukan serta menemukan bakat kepemimpinan
- Mengembangkan sikap siap tanggap, meningkatkan rasa peduli dan koordinasi antar peserta didik saat pembelajaran berlangsung serta saling memahami terutama dalam berkelompok

Berdasarkan beberapa kelebihan di atas dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan model *experiential learning* dalam pembelajaran akan menciptakan sebuah pembelajaran yang baik lebih efektif dan berkualitas serta dapat meningkatkan kemampuan peserta didik

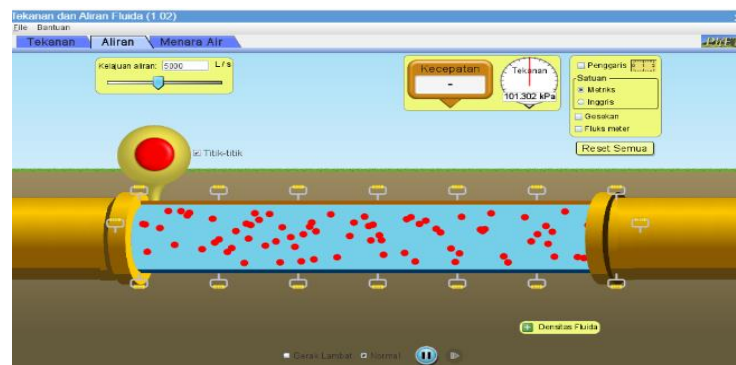
Adapun kekurangan model *experiential learning* menurut Fathurrohman (2006) yaitu:

- Sulit dipahami dan dimengerti oleh pendidik sehingga belum banyak yang menerapkan model pembelajaran tersebut pada saat pembelajaran
- Sering terjadi ketidaksesuaian antara waktu yang direncanakan dengan pelaksanaan pembelajaran

Berdasarkan beberapa kekurangan di atas dapat disimpulkan bahwa ketika menggunakan model *experiential learning* dalam pembelajaran diperlakukan waktu yang relatif panjang untuk mencapai tujuan pembelajaran yang diharapkan.

2.1.5. *PhET Simulation*

PhET (*Physics Education Technology*) merupakan situs web yang menyediakan *simulasi sains* dan diciptakan oleh *University of Colorado* berupa simulasi pembelajaran khususnya fisika (Oktaviana & Putri, 2020). *PhET* digunakan sebagai media pembelajaran dalam kegiatan pembelajaran yakni dapat membantu membangun pemahaman peserta didik dikarenakan *PhET* mampu menampilkan gambaran secara interaktif dan mampu menampilkan gambar secara nyata layaknya simulasi langsung. Adapun tampilan *PhET Simulation* disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tampilan *PhET Simulation* materi Kontinuitas

Dengan menggunakan *PhET Simulation* peserta didik dapat melakukan praktikum secara virtual. Peserta didik dalam proses pembelajaran dapat memahami konsep materi. Selain itu *PhET Simulation* mempunyai kelebihan diantaranya, dapat mengatasi keterbatasan alat-alat laboratorium. Hal tersebut sesuai dengan kelebihan menurut Defianti et al (2021) dengan menggunakan *PhET Simulation* dapat meminimalisir kesalahan dalam melakukan kegiatan praktikum seperti merusak alat dan melakukan hal yang menyebabkan bahaya. Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam kegiatan praktikum telah tersedia di dalam program *PhET Simulation* (Oktaviana & Putri, 2020). Dengan demikian, kegiatan praktikum dengan menggunakan *PhET simulation* dapat dilaksanakan dengan efektif dan efisien serta lebih cepat dibandingkan dengan praktikum langsung.

2.1.6. Fluida dinamis

2.1.6.1. Pengertian Fluida dinamis

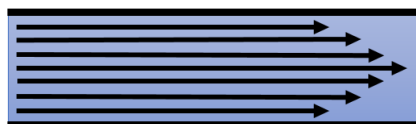
Fluida dinamis dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang bisa mengalami perubahan, artinya fluida dinamis merupakan fluida yang bergerak. Gerakan fluida merupakan fenomena yang kompleks. Penyederhanaan dalam mempelajari fluida dilakukan dengan menganggap bahwa fluida bersifat ideal. Beberapa sifat fluida ideal menurut Radjawane et al (2022) adalah sebagai berikut:

- a. *Inkompresibel* artinya volume fluida dianggap tidak berubah ketika mengalami tekanan. Karena volume konstan, maka massa jenis fluida tersebut juga konstan
- b. *Irotasional* artinya aliran fluida tidak memutar suatu objek yang tercelup dalam fluida tersebut
- c. Aliran bersifat *tunak* artinya kelajuan fluida pada suatu titik tertentu tidak berubah terhadap waktu. Aliran fluida yang mengalir dengan kelajuan rendah dapat dianggap sebagai aliran tunak. Semakin tinggi kelajuannya maka semakin terjadi gejolak dalam aliran tersebut.
- d. Viskositas dianggap nol, artinya fluida tidak menggali hambatan ketika sedang mengalir.

Adapun jenis aliran dalam fluida dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

a. Aliran Laminar

Aliran laminar, jika setiap partikel fluida mengikuti lintasan-lintasan yang mulus, sehingga lintasan dari bermacam-macam partikel yang ada tidak pernah bertumbukan satu sama lain. Kecepatan partikel fluida di tiap titik pada garis arus searah dengan garis singgung di titik tersebut. Dengan demikian, garis arus tidak pernah berpotongan. Visualisasi dari aliran laminar disajikan pada Gambar 2.2.

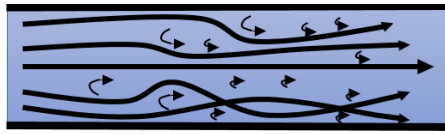


Gambar 2.2 Aliran laminar
(Sumber: Kusri 2020)

b. Aliran turbulen

Aliran turbulen adalah aliran yang tidak beraturan/tidak sejajar dengan pipa. Aliran turbulen dicirikan oleh adanya aliran berputar. Dalam pipa terdapat partikel-

partikel yang memiliki arah gerak berbeda bahkan berlawanan dengan arah gerak keseluruhan fluida. Visualisasi dari aliran turbulen disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Aliran Turbulen
(Sumber: Kusriani 2020)

2.1.6.2. Debit air

Pada fluida yang bergerak memiliki besaran yang dinamakan debit. Debit (Q) merupakan besaran yang menyatakan volume fluida (V) yang mengalir melalui penampang tertentu dalam satuan waktu tertentu. Debit dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{waktu}} \text{ atau } Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Persamaan di atas dapat dijabarkan menjadi sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{AL}{t} = \frac{A(v.t)}{t} = Av \quad (2)$$

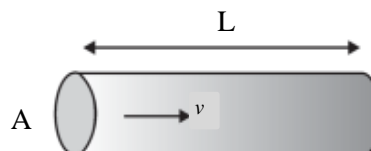
Keterangan:

Q = Debit (m^3/s)

V = Volume (m^3)

T = Waktu (s)

Persamaan tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 2.4.



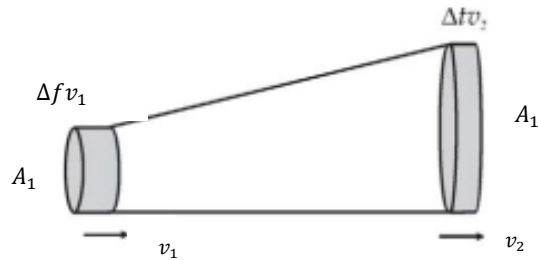
Gambar 2.4 Debit fluida pada sebuah pipa
(Sumber: Suharyanto, 2009)

Misalkan sejumlah fluida mengalir melalui penampang pipa seluas A dan setelah selang waktu t menempuh jarak L . Volume fluida adalah $V = AL$, sedangkan jarak $L = vt$, sehingga debit Q dapat dinyatakan seperti persamaan (2).

2.1.6.3. Azas Kontinuitas

Fluida yang tak termampatkan dan mengalir dalam keadaan tunak, maka laju aliran volume fluida di setiap waktu akan sama besar. Jika suatu fluida mengalir

dengan tunak, maka massa fluida yang masuk ke salah satu ujung pipa akan sama dengan massa fluida yang keluar dari ujung pipa yang lain selama selang waktu yang sama. Jika demikian, maka akan terjadi penambahan atau pengurangan massa pada bagian tertentu di dalam pipa. Dalam hal ini berarti telah terjadi pemampatan atau peregangan fluida atau dengan kata lain fluida tidak dapat lagi disebut tak termampatkan.



Gambar 2.5 Fluida yang mengalir pada suatu bagian pipa
(Sumber: Suharyanto, 2009)

Pada Gambar 2.5. terlihat fluida yang mengalir melalui sebuah pipa pada penampang A_1 dengan kecepatan aliran v_1 menuju ke penampang yang lebih besar A_2 dengan kecepatan aliran v_2 . Dengan asumsi bahwa fluida yang mengalir tidak kompresibel maka jumlah fluida yang masuk ke salah satu ujung pipa akan sama dengan jumlah fluida yang keluar dari ujung pipa yang lain selama selang waktu yang sama. Volume fluida pada penampang A_1 sama dengan volume fluida pada penampang A_2 , maka debit fluida di penampang A_1 sama dengan debit fluida di penampang A_2 . Secara matematis diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 \\ A_1 s_1 &= A_2 s_2 \\ A_1(v_1 \Delta t) &= A_2(v_2 \Delta t) \end{aligned} \quad (3)$$

Untuk selang waktu yang sama, akan diperoleh persamaan:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (4)$$

Persamaan di atas disebut dengan debit Q , sehingga persamaan (4) dapat dinyatakan juga dengan:

$$Q_1 = Q_2 \quad (5)$$

Keterangan:

v_1 = Kecepatan aliran fluida di penampang 1(m/s)

v_2 = Kecepatan aliran fluida di penampang 2 (m/s)

A_1 = Luas penampang 1 (m^2)

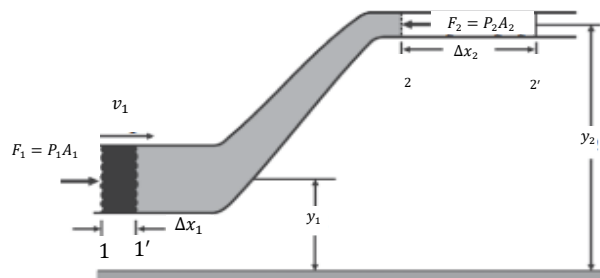
A_2 = Luas penampang 2 (m^2)

V = Volume (m^3)

Persamaan (4) disebut dengan persamaan kontinuitas yang menyatakan bahwa pada fluida yang tak termampatkan, hasil kali antara kecepatan fluida dengan luas penampang selalu konstan. Maka konsep dari azas kontinuitas yaitu jika semakin besar luas penampang maka kecepatannya akan semakin kecil dan sebaliknya jika luas penampang kecil maka kecepatan aliran fluida akan semakin besar.

2.1.6.4. Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli membahas mengenai hubungan antara kecepatan aliran fluida, ketinggian, dan tekanan dengan menggunakan konsep usaha dan energi. Fluida ideal dengan massa jenis konstan mengalir melalui pipa dengan luas penampang A_1 memasuki pipa dengan luas penampang A_2 . Posisi penampang A_1 adalah h_1 dari acuan tanah dan posisi penampang A_2 adalah h_2 dari tanah. Perhatikan Gambar 6, terdapat potongan fluida yang mengalir dari ujung kiri yang mengalami gaya tekan F_1 lalu potongan fluida tersebut bergerak ke ujung kanan mengalami gaya tekan F_2 . Anggaplah setelah Δt potongan fluida di ujung kiri telah menempuh Δx_1 menurut (Radjawane et al., 2022). Untuk menentukan persamaan Bernoulli dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Fluida yang mengalir pada suatu bagian pipa

(Sumber: Suharyanto, 2009)

Usaha yang dilakukan oleh F_1 adalah:

$$W_1 = F_1 \Delta x_1 = P_1 A_1 v_1 \Delta t \quad (6)$$

Sedangkan usaha yang dialami pada potongan fluida di ujung kanan adalah:

$$W_2 = F_2 \Delta x_2 = p_2 A_2 v_2 \Delta t \quad (7)$$

Jadi usaha totalnya adalah:

$$W_{Total} = P_1 A_1 v_1 \Delta t - P_2 A_2 v_2 \Delta t$$

$$W_{Total} = (P_1 - P_2) v \quad (8)$$

Prinsip usaha dan energi menyatakan usaha total sama dengan energi mekanik.

$$W_{total} = E_M$$

$$W_{total} = \Delta E_P + \Delta E_K$$

$$= mg\Delta h + \frac{1}{2} m(\Delta v)^2$$

$$(P_1 - P_2) = \rho V g (h_1 - h_2) + \frac{1}{2} \rho V (v_1 - v_2)^2 \quad (9)$$

Seluruh persamaan dikalikan $1/V$, maka didapatkan:

$$(P_1 - P_2) = \rho g h_1 - \rho g h_2 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (10)$$

Jadi persamaan Bernoulli adalah:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (11)$$

Persamaan tersebut diturunkan oleh Daniel Bernoulli dan sering juga dituliskan dalam bentuk:

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{Konstan} \quad (12)$$

Keterangan:

P = Tekanan (Pa)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

h = Ketinggian (m)

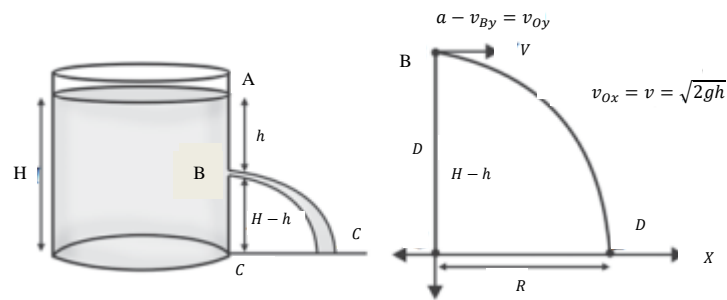
v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.1.6.5. Penerapan Hukum Bernoulli

a. Tangki Bocor (Teorema Torricelli)

Teorema torricelli menjelaskan bahwa jika suatu wadah yang menyambung dengan atmosfer bagian atasnya, kemudian lubang yang jauh lebih kecil dari luas penampang wadah di bawah permukaan fluida, maka kelajuan semburan fluida sama dengan kelajuan gerak jatuh bebas dari ketinggian h . Kecepatan aliran air yang memancar dari lubang dapat dihitung berdasarkan hukum Toricelli. Adapun gambar lintasan fluida pada tangki bocor disajikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Lintasan fluida pada tangki bocor
(Sumber: Nurachmandani, 2009)

Jika air keluar dari lubang B dengan kelajuan kecepatan v yang jatuh di titik D, maka terlihat lintasan air dari titik B ke titik berbentuk parabola. Berdasarkan analisis gerak parabola, kecepatan awal fluida pada arah mend $v_{Bx} = v = \sqrt{2gh}$. Diperoleh persamaan untuk menghitung waktu yang diperlukan air dari titik B ke titik D sebagai berikut:

$$H - h = 0 + \frac{1}{2}gt^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} \quad (13)$$

Gerak air (fluida) pada sumbu X merupakan gerak lurus beraturan (GLB) sehingga berlaku persamaan $X = v_{0X}t$ karena $v_{0X} = v_{BX} = v = \sqrt{2gh}$ maka:

$$R = X = \sqrt{2gh} \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}$$

$$= \sqrt{4h(H-h)}$$

$$R = X = 2\sqrt{h(H-h)} \quad (14)$$

Keterangan:

v = Kecepatan air yang mengalir melalui lubang (m/s)

$x = R$ = Jarak jatuhnya air (m)

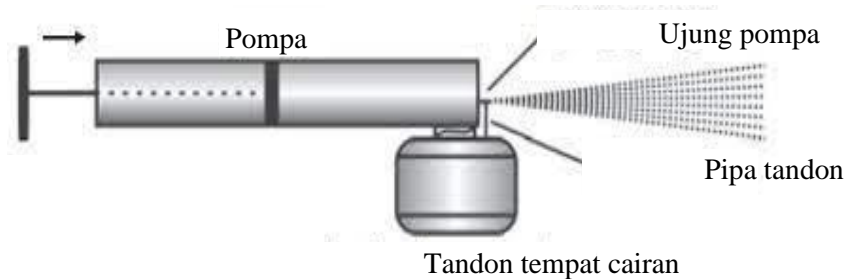
H = Ketinggian fluida dalam tangki (m)

h = Ketinggian lubang yang diukur dari permukaan air (m)

t = Waktu yang diperlukan air untuk menyentuh tanah (s)

b. Alat penyemprot

Alat penyemprot yang menggunakan prinsip Bernoulli yang sering digunakan adalah alat penyemprot racun serangga. Adapun ilustrasi penyemprot serangga disajikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Penyemprot racun serangga

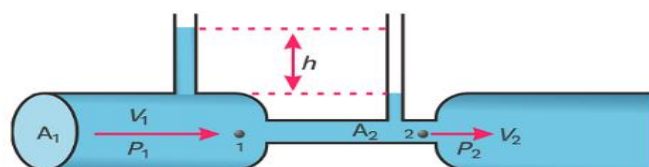
(Sumber: Nurachmandani, 2009)

Ketika kita menekan batang penghisap, udara dipaksa keluar dari tabung pompa melalui tabung sempit pada ujungnya. Semburan udara yang bergerak dengan cepat mampu menurunkan tekanan pada bagian atas tabung tandon yang berisi cairan racun. Hal ini menyebabkan tekanan atmosfer pada permukaan cairan turun dan memaksa cairan naik ke atas tabung. Semburan udara berkelanjutan tinggi meniup cairan, sehingga cairan dikeluarkan sebagai semburan kabut halus.

c. Venturimeter

Tabung venturi atau venturimeter, yaitu alat yang dipasang pada suatu pipa aliran untuk mengukur kelajuan zat cair. Ada dua venturimeter yang akan dipelajari, yaitu venturimeter tanpa manometer dan venturimeter menggunakan manometer yang berisi zat cair lain.

1. Venturimeter tanpa sistem manometer



Gambar 2.9 Venturimeter tanpa sistem manometer

(Sumber: Nurachmandani, 2009)

Gambar 2.9 menunjukkan sebuah venturimeter yang digunakan untuk mengukur kelajuan aliran dalam sebuah pipa untuk menentukan kelajuan aliran v_1 dinyatakan dalam besaran-besaran luas penampang A_1 dan A_2 serta perbedaan ketinggian zat

cair dalam kedua tabung vertikal h . Zat cair yang akan diukur kelajuannya mengalir pada titik-titik yang tidak memiliki perbedaan ketinggian ($h_1 = h_2$) sehingga berlaku persamaan berikut.

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) \quad (15)$$

Berdasarkan persamaan kontinuitas diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \Rightarrow v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1} \text{ atau } v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1} \quad (16)$$

Jika persamaan ini dimasukkan ke persamaan $P_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)$, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 v_2^2 - v_1^2 \right]$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] \quad (17)$$

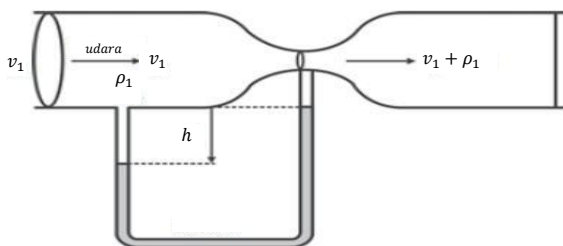
Pada gambar 9 terlihat perbedaan ketinggian vertikal cairan tabung pertama dan kedua adalah h . Oleh karena itu selisih tekanan sama dengan tekanan hidrostatik cairan tinggi h .

$$P - P_2 = \rho gh \quad (18)$$

Dengan menggabungkan persamaan (17) dan persamaan (19) yang melibatkan perbedaan tekanan tersebut diperoleh dari kelajuan aliran fluida v_1 .

2. Venturimeter dengan manometer

Pada prinsipnya venturimeter dengan manometer hampir sama dengan venturimeter tanpa manometer. Hanya saja dalam venturimeter ini ada tabung U yang berisi raksa. Adapun venturimeter dengan sistem manometer dapat disajikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Venturimeter dengan sistem manometer

(Sumber: Nurachmandani, 2009)

Berdasarkan penurunan rumus yang sama pada venturimeter tanpa manometer diperoleh kelajuan aliran v_1 adalah sebagai berikut:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho_r gh}{\rho_u \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \quad (19)$$

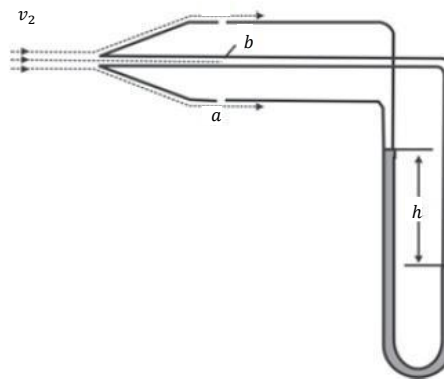
Keterangan:

ρ_r = Massa jenis raksa

ρ_u = Massa jenis udara

d. Tabung pitot

Alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur kelajuan gas adalah tabung pitot. Adapun ilustrasinya disajikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Diagram penampang sebuah pitot

(Sumber: Nurachmandani, 2009)

Gas mengalir melalui lubang-lubang di titik b . Lubang – lubang ini sejajar dengan arah aliran dan dibuat cukup jauh di belakang sehingga kelajuan dan tekanan gas di luar lubang-lubang tersebut mempunyai nilai seperti halnya dengan aliran bebas jadi, $v_a = v$ (kelajuan gas) dan tekanan pada kaki kiri manometer tabung pitot sama dengan tekanan aliran gas (P).

Lubang dari kaki kanan manometer tegak lurus terhadap aliran sehingga kelajuan gas berkurang sampai ke nol di titik b ($v_b = 0$). Pada titik ini gas berada dalam keadaan diam. Tekanan pada kaki kanan manometer sama dengan di titik b (p_b). Beda ketinggian titik a dan b dapat diabaikan ($h_a = h_b$), sehingga perbedaan tekanan yang terjadi menurut persamaan Bernoulli adalah sebagai berikut:

$$p_a + \frac{1}{2}\rho v_a^2 = p_b + 0$$

$$p_b - p_a = \frac{1}{2} \rho v_a^2 \quad (20)$$

Perbedaan tekanan ini sama dengan tekanan hidrostatika fluida (raksa) pada manometer.

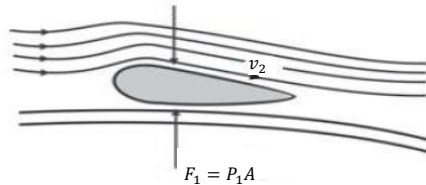
$$p_b - p_a = \rho_r g h \quad (21)$$

Oleh karena itu, kecepatan aliran gas $v_b = v$ dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_r g h}{\rho}} \quad (22)$$

e. Gaya angkat Sayap Pesawat Terbang

Pesawat terbang dapat terangkat ke atas jika gaya angkat lebih besar dari pada berat pesawat. Jadi, apakah suatu pesawat dapat terbang atau tidak bergantung pada berat pesawat, kelajuan pesawat, dan ukuran sayapnya. Semakin besar kecepatan pesawat, semakin besar kecepatan udara, dan ini berarti $v_2^2 - v_1^2$ bertambah besar, sehingga gaya angkat $F_1 - F_2$, semakin besar. Demikian juga semakin besar ukuran sayap (A), semakin besar gaya angkatnya. Adapun ilustrasi garis-garis arus di setiap sayap pesawat terbang disajikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Garis-garis arus di setiap sayap pesawat terbang

(Sumber: Nurachmandani, 2009)

Garis arus pada sisi bagian atas lebih rapat dari pada sisi bagian bawahnya. Artinya, kelajuan aliran udara pada sisi bagian atas pesawat v_2 lebih besar dari pada sisi bagian bawah sayap v_1 . Sesuai dengan azas Bernoulli, tekanan pada sisi bagian atas P_2 lebih kecil dari pada sisi bagian bawah P_1 karena kelajuan udaranya lebih besar. Dengan A sebagai luas penampang pesawat, maka besarnya gaya angkat dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$F_1 - F_2 = (p_1 - p_2)A$$

$$F_1 - F_2 = \frac{1}{2}\rho(V_2^2 - V_1^2)A \quad (23)$$

Bagian ini berisi kajian teori, generalisasi, konsep, pendapat para ahli yang relevan dengan variabel penelitian yang akan dijadikan landasan dalam penelitian atau penyelesaian masalah. Setiap konsep variabel diuraikan dalam sub bab yang terpisah atau tersendiri. Hal ini dimaksudkan, agar penelitian yang dilakukan diketahui kedudukannya di tengah perkembangan ilmu dalam bidang yang diteliti dan pada akhirnya penulis menetapkan posisinya disertai dengan alasan-alasannya. Untuk mengantisipasi terjadinya penulisan skripsi yang sama, pada bagian ini perlu pula dikemukakan penelitian orang lain yang relevan. Berdasarkan pada kajian pustaka, pada bagian ini pun dirumuskan kerangka konseptual dan hipotesis atau pertanyaan penelitian (jika ada) yang ditulis pada sub bab tersendiri. Kajian pustaka dapat dikutip dari buku, jurnal, makalah seminar/pelatihan/*workshop*, artikel dari internet, majalah, koran, dll. Artikel dari internet harus selektif dengan memperhatikan kredibilitas *domain website* dan penulisnya.

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Pengembangan e-modul telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Berikut beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian penulis.

Penelitian yang dilakukan Adam et al (2023) yaitu melakukan pengembangan e-modul berbasis web pada materi momentum dan impuls. Pengembangan e-modul dilakukan dengan menggunakan model pengembangan ADDIE dan dibuat menggunakan *Flip PDF Professional*. Berdasarkan hasil uji coba kelayakan e-modul dari kuesioner respon peserta didik dan pendidik memiliki tanggapan positif sedangkan pada peningkatan hasil belajar dengan menggunakan e-modul tersebut memiliki peningkatan dengan kategori rendah karena dipengaruhi beberapa faktor.

Penelitian yang dilakukan oleh Wakiah et al (2019) yaitu mengembangkan e-modul berbasis *Problem Based Learning* untuk materi usaha dan energi. Pengembangan e-modul dilakukan dengan menggunakan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Dissemination*). E-modul tersebut dikembangkan dengan memiliki beberapa karakteristik yaitu dilengkapi video pengantar pembelajaran, tombol navigasi dan fitur untuk “upload jawaban” tetapi dalam e-modul belum dilengkapi dengan simulasi praktikum. Berdasarkan hasil validasi oleh ahli

memperoleh nilai 85,5 dengan kategori “sangat baik” dan dari hasil uji coba terbatas memperoleh nilai rata-rata dengan kategori “sangat baik”.

Penelitian yang dilakukan oleh Afifah et al (2023) yaitu mengembangkan e-modul operasi hitung pecahan berbantuan *PhET Simulation*. E-modul tersebut dikembangkan menggunakan model pengembangan ADDIE. Berdasarkan hasil produk dikatakan valid dengan memperoleh skor sebesar 96,59 % dapat dikategorikan sangat baik dan berdasarkan uji kepraktisan memperoleh skor sebesar 97,6 % dapat dikategorikan sangat baik. E-modul yang telah dikembangkan dapat diakses secara prabayar dan isi pembahasan dalam e-modul masih belum disusun dengan rinci

Penelitian yang dilakukan oleh Susanti et al (2020) yaitu mengembangkan e-modul berbasis model *Discovery Learning* berbantuan PhET untuk materi teori kinetik gas. E-modul tersebut terdiri dari 5 kegiatan belajar namun hanya 1-3 kegiatan yang menggunakan model *Discovery Learning* berbantuan *PhET*. E-modul tersebut dikembangkan menggunakan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Dissemination*). Dari semua uji validitas E-modul tersebut diperoleh nilai persentase paling tinggi yaitu 93% pada bagian materi, sedangkan hasil terendah diperoleh pada bagian peta konsep yaitu sebesar 83%. Berdasarkan validasi ahli diperoleh hasil sebesar 87,7% yang artinya produk dalam kriteria valid dan diperoleh hasil rata-rata keterbacaan sebesar 96,4% yang artinya produk dalam kriteria layak.

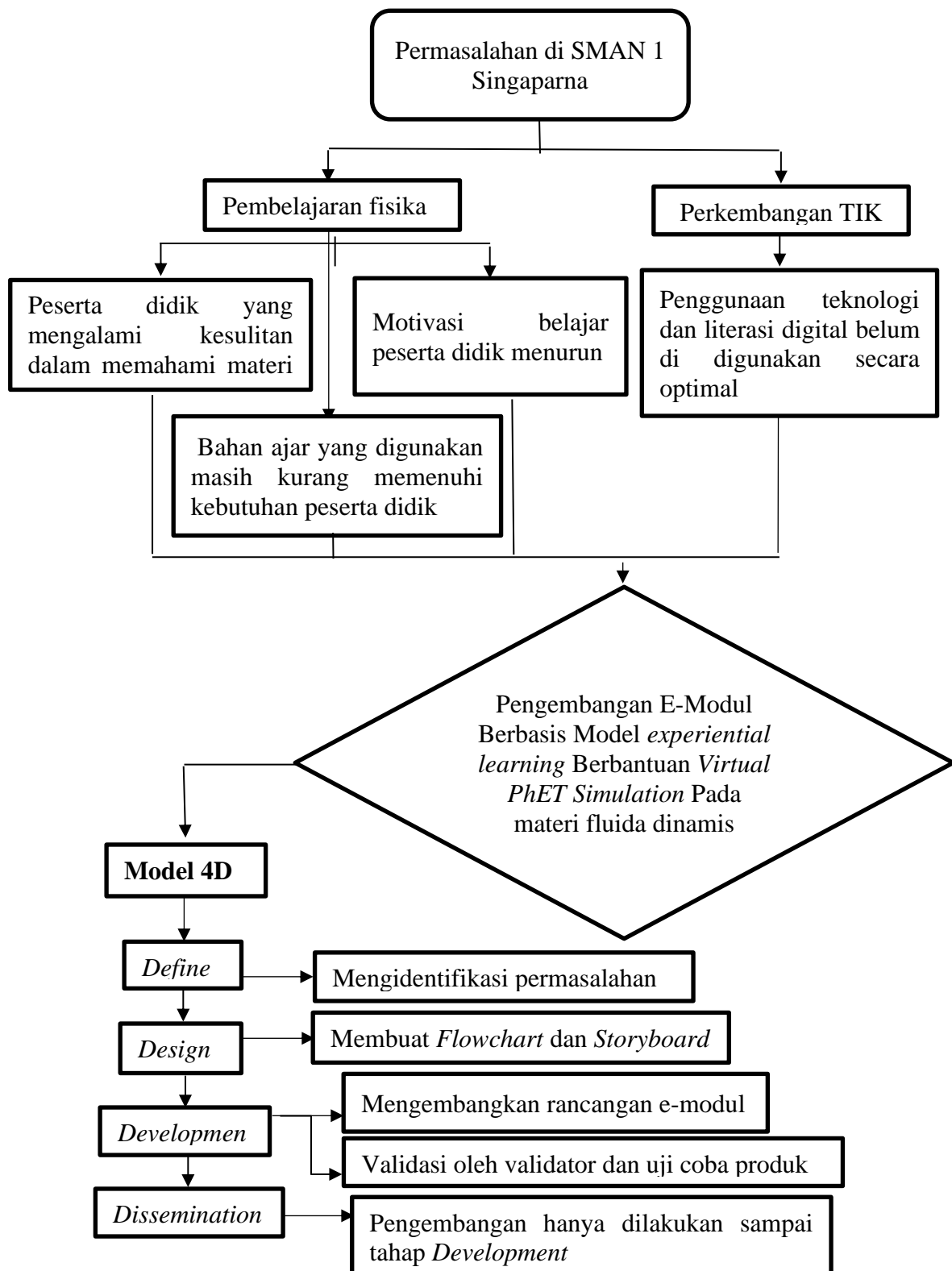
Berdasarkan beberapa penelitian diatas, yaitu mengembangkan e-modul yang nantinya dapat diakses melalui *smartphone*. Berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan penulis, yaitu pada kerangka e-modul dibuat sesuai dengan sintaks pada model pembelajaran *experiential learning*. Produk akhir e-modul dirancang dengan desain tampilan yang berbeda dari penelitian sebelumnya dan dilengkapi dengan *virtual simulasi PhET*, serta produk akhir dari e-modul dikemas dalam bentuk link yang dapat diakses gratis secara online. Selain itu, penelitian penulis akan diterapkan pada peserta didik kelas XI MIPA 2 SMAN 1 Singaparna pada materi fluida dinamis.

2.3 Kerangka Berpikir

Perkembangan teknologi sangat mempengaruhi setiap aspek dalam kehidupan, termasuk dalam bidang Pendidikan. Berdasarkan Permendikbud Ristek Nomor 16 Tahun 2022 tentang standar proses yakni penggunaan perangkat teknologi informasi dan komunikasi untuk memberikan pengalaman belajar yang berkualitas kepada peserta didik demi tercapainya tujuan pembelajaran. Implementasi penerapan teknologi sudah banyak direalisasikan khususnya di sekolah, salah satunya dengan menggunakan media pembelajaran dan bahan ajar dalam bentuk digital yang dapat diakses melalui *smartphone*. Namun, dalam kenyataannya implementasi teknologi dalam pembelajaran belum diselenggarakan dengan optimal.

Langkah utama yang dilakukan oleh peneliti adalah melakukan studi pendahuluan, yaitu menganalisis kondisi dan kebutuhan dalam proses pembelajaran. Berdasarkan hasil studi pendahuluan modul yang digunakan di sekolah belum berbasis elektronik. Hal tersebut membuat peserta didik merasa masih belum terpenuhi kebutuhan dalam proses pembelajaran karena belum memfasilitasi gaya belajar sehingga menyebabkan peserta didik kesulitan dalam memahami materi. Peserta didik untuk memahami materi yaitu dengan cara mengamati suatu fenomena atau observasi agar dapat memahami materi melalui pengalamannya sendiri.

Berdasarkan analisis tersebut peneliti berupaya mengembangkan bahan ajar berupa e-modul berbasis model *experiential learning* berbantuan *virtual PhET simulation* pada materi fluida dinamis. Penggunaan bahan ajar dimaksudkan untuk memfasilitasi kegiatan praktikum sehingga dapat membantu peserta didik dalam memahami materi yang kompleks seperti fluida dinamis. Adapun kerangka konseptual dari penelitian ini disajikan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kerangka Konseptual Pengembangan E-Modul