

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Tes Diagnostik

Tes diagnostik merupakan salah satu instrumen penilaian yang dirancang secara khusus untuk mengidentifikasi kelemahan, kesalahan pemahaman, serta hambatan belajar yang dialami oleh peserta didik pada topik atau konsep tertentu (Gronlund & Linn, 1990). Berbeda dengan tes sumatif yang bertujuan mengukur hasil belajar secara keseluruhan pada akhir suatu periode pembelajaran, tes diagnostik difokuskan pada proses pemahaman konseptual siswa sehingga guru dapat mengetahui secara tepat pada bagian mana seorang siswa mengalami kesulitan (Nitko & Brookhart, 2011). Dengan kata lain, tes diagnostik berfungsi bukan sebagai alat penilaian akhir, melainkan sebagai alat bantu pengambilan keputusan instruksional yang berbasis data empiris (Treagust, 1988).

Menurut Arikunto (2021), tes diagnostik adalah tes yang digunakan untuk mengetahui kelemahan-kelemahan siswa sehingga berdasarkan hal tersebut dapat dilakukan penanganan yang tepat. Sementara itu, tes diagnostik adalah tes yang digunakan untuk menentukan kelemahan dan kekuatan siswa dalam suatu bidang studi guna merencanakan pembelajaran remediasi yang sesuai (Oreondo, 1984). Treagust (1988) menyatakan bahwa tes diagnostik dalam pendidikan sains merupakan instrumen evaluasi yang dirancang secara khusus untuk mengidentifikasi kekeliruan pemahaman

konsep atau miskonsepsi yang dimiliki oleh peserta didik. Menurut Treagust (1988), tes ini berbeda dengan tes prestasi belajar biasa karena fokus utamanya bukan pada pencapaian skor atau nilai akademis siswa. Lebih lanjut, Treagust (1988) menegaskan bahwa instrumen ini menitikberatkan pada pelacakan secara detail terhadap letak kelemahan berpikir siswa ketika mereka dihadapkan pada suatu fenomena ilmiah tertentu.

Suwarto (2013) menjelaskan bahwa tes diagnostik adalah suatu instrumen penilaian yang digunakan untuk mengetahui kelemahan-kelemahan peserta didik dalam menguasai suatu mata pelajaran tertentu beserta faktor yang menjadi penyebabnya (Suwarto, 2013). Suwarto (2013) menyebutkan bahwa karakteristik utama dari tes diagnostik terletak pada penyediaan informasi yang sangat detail mengenai kualitas struktur kognitif yang dimiliki oleh siswa. Oleh karena itu, hasil dari tes dapat dijadikan kompas atau panduan bagi pendidik untuk menentukan tindakan perbaikan yang tepat. Dari berbagai definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa tes diagnostik pada hakikatnya adalah instrumen yang berorientasi pada proses bukan hasil dan bertujuan memberikan gambaran yang akurat mengenai kondisi pemahaman siswa sebelum, selama, atau setelah proses pembelajaran berlangsung.

Dalam konteks pembelajaran fisika, tes diagnostik memiliki peran yang sangat strategis mengingat fisika merupakan mata pelajaran yang kaya akan konsep abstrak dan hierarkis, di mana pemahaman yang keliru pada konsep dasar dapat menyebabkan kesulitan yang berkelanjutan pada konsep-konsep

lanjutan (Serway & Jewett, 2018). Oleh karena itu, pengembangan tes diagnostik yang valid, reliabel, dan mampu mengungkap miskonsepsi siswa secara terperinci menjadi salah satu prioritas utama dalam penelitian pendidikan fisika (Gurel, Eryilmaz, & McDermott, 2015).

2. Tes Diagnostik Empat Tingkat (*Four-Tier Diagnostic Test*)

Tes diagnostik empat tingkat (*four-tier diagnostic test*) merupakan pengembangan lanjutan dari tes tiga tingkat yang pertama kali diperkenalkan oleh Caleon dan Subramaniam (2010) dalam penelitian mereka mengenai pemahaman gelombang pada siswa sekolah menengah di Singapura. Instrumen ini dikembangkan atas dasar pemikiran bahwa indeks keyakinan tidak hanya perlu ditempatkan pada jawaban konsep, tetapi juga pada alasan yang diberikan siswa, agar gambaran mengenai derajat keyakinan kognitif siswa menjadi lebih komprehensif dan akurat (Caleon & Subramaniam, 2010). Sejak diperkenalkan, tes empat tingkat telah digunakan secara luas dalam berbagai penelitian pendidikan sains, termasuk fisika, kimia, dan biologi di berbagai negara (Kaltakci-Gurel, Eryilmaz, & McDermott, 2016).

Instrumen tes diagnostik empat tingkat memiliki struktur yang terdiri atas empat komponen pada setiap butir soal, sebagaimana dijelaskan oleh Caleon dan Subramaniam (2010) dan (Kaltakci Gurel dkk., 2017) pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1. Struktur Tes Diagnostik 4 Tingkat

Tingkatan Tes Diagnostik	Deskripsi
--------------------------	-----------

Tingkat Pertama (<i>Tier 1</i>)	Berisi pertanyaan mengenai konsep fisika dalam bentuk soal pilihan ganda. Pilihan jawaban pada tingkat ini terdiri atas satu jawaban yang benar secara ilmiah dan beberapa distraktor yang mencerminkan miskonsepsi umum yang telah teridentifikasi melalui studi literatur dan wawancara awal dengan siswa (Treagust, 1988). Pilihan jawaban yang mencerminkan miskonsepsi ini berfungsi untuk menangkap pola pemikiran keliru yang dimiliki siswa, bukan sekadar pilihan yang dibuat secara acak.
Tingkat Kedua (<i>Tier 2</i>)	Berisi skala keyakinan terhadap jawaban yang dipilih pada Tier 1. Skala ini biasanya berbentuk skala Likert dengan rentang 1 (sangat tidak yakin) hingga 4 atau 5 (sangat yakin), atau dalam bentuk dikotomi yakin/tidak yakin (Hasan dkk., 1999). Tingkat keyakinan ini memungkinkan peneliti untuk membedakan antara siswa yang menjawab dengan pengetahuan yang diyakininya dan siswa yang hanya menebak, sehingga data miskonsepsi yang diperoleh menjadi lebih valid (Caleon & Subramaniam, 2010).
Tingkat Ketiga (<i>Tier 3</i>)	Berisi pilihan alasan (<i>reason</i>) atas jawaban yang diberikan pada Tier 1. Pilihan alasan ini terdiri atas satu alasan yang benar secara ilmiah dan beberapa alasan yang mencerminkan penalaran keliru berdasarkan miskonsepsi yang umum dijumpai (Treagust, 1988). Dengan tersedianya pilihan alasan terstruktur, instrumen ini dapat mengungkap tidak hanya apa yang dipilih siswa, tetapi juga <i>mengapa</i> siswa memilih jawaban tersebut, yang merupakan inti dari identifikasi miskonsepsi (Gurel dkk., 2015).
Tingkat Keempat (<i>Tier 4</i>)	Berisi skala keyakinan terhadap alasan yang dipilih pada Tier 3. Penambahan tingkat keyakinan pada alasan ini merupakan kontribusi utama yang membedakan tes empat tingkat dari tes tiga tingkat (Caleon & Subramaniam, 2010). Dengan adanya dua indeks keyakinan yang independen satu untuk jawaban konsep dan satu untuk alasan peneliti dapat memperoleh profil kognitif siswa yang lebih presisi, termasuk mengidentifikasi siswa yang merasa yakin dengan jawabannya tetapi tidak yakin dengan alasannya, yang mengindikasikan adanya pemahaman yang parsial atau tidak lengkap (Caleon & Subramaniam, 2010).

Berdasarkan kombinasi jawaban dan tingkat keyakinan pada keempat tingkat, Fariyani & Rusilowati (2015) menyusun kerangka analisis untuk mengklasifikasikan kondisi pemahaman siswa. Tabel 2.2 berikut merangkum kriteria klasifikasi tersebut:

Tabel 2. 2. Klasifikasi Profil Miskonsepsi

Jawaban	Keyakinan Jawaban	Alasan	Keyakinan Alasan	Kriteria
Benar	Yakin	Benar	Yakin	Paham Konsep
Benar	Tidak Yakin	Salah	Yakin	Miskonsepsi
Benar	Yakin	Salah	Yakin	
Salah	Yakin	Benar	Tidak Yakin	
Salah	Yakin	Benar	Yakin	
Salah	Yakin	Salah	Tidak Yakin	
Salah	Tidak Yakin	Salah	Yakin	
Salah	Yakin	Salah	Yakin	
Benar	Tidak Yakin	Benar	Tidak Yakin	<i>Lack of Knowledge</i> (Kurang Pengetahuan)
Benar	Yakin	Benar	Tidak Yakin	
Benar	Tidak Yakin	Benar	Yakin	
Benar	Tidak Yakin	Salah	Tidak Yakin	
Benar	Yakin	Salah	Tidak Yakin	
Salah	Tidak Yakin	Benar	Tidak Yakin	
Salah	Tidak Yakin	Benar	Yakin	
Salah	Tidak Yakin	Salah	Tidak Yakin	

(Fariyani & Rusilowati, 2015)

Klasifikasi ini memberikan informasi diagnostik yang jauh lebih kaya dibandingkan tes konvensional karena memungkinkan guru untuk mengetahui tidak hanya apakah siswa menjawab benar atau salah, tetapi juga mengetahui derajat keyakinan dan kualitas penalaran yang mendasari setiap jawaban (Caleon & Subramaniam, 2010). Siswa yang berada dalam kategori miskonsepsi (M) memerlukan strategi perubahan konseptual (conceptual change) yang berbeda dan lebih intensif dibandingkan siswa

yang berada dalam kategori tidak paham konsep (TPK), yang cukup mendapatkan instruksi langsung (direct instruction) yang memadai (Posner dkk., 1982).

3. Konsepsi, Miskonsepsi, dan Faktor Penyebabnya

a. Pengertian Konsepsi

Konsepsi merupakan struktur mental, gagasan, atau pemaknaan yang dibentuk oleh individu untuk menginterpretasikan objek, fenomena, dan peristiwa yang terjadi di lingkungan mereka (Duit, 2007). Konsepsi bersifat personal dan dinamis karena terus berkembang seiring dengan bertambahnya akumulasi pengalaman serta informasi yang diserap oleh peserta didik (Slavin, 2020). Pemaknaan konseptual ini dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu konsepsi ilmiah yang sejalan dengan konsensus para ilmuwan, dan konsepsi alternatif yang mengabaikan prinsip-prinsip sains formal (Vosniadou, 2013). Dalam proses pembelajaran fisika, konsepsi peserta didik bertindak sebagai lensa kognitif yang menyaring, mengorganisasi, dan menentukan tingkat keberhasilan penyerapan materi baru yang disampaikan oleh pendidik (Ausubel, 1968).

Konsepsi merupakan gambaran mental atau representasi kognitif seseorang terhadap suatu fenomena atau objek tertentu yang terbentuk melalui pengalaman dan proses berpikir (Ausubel dkk., 1978). Konsepsi bersifat personal dan subjektif karena dibangun melalui proses asimilasi

dan akomodasi pengalaman individu ke dalam struktur kognitif yang telah ada sebelumnya (Piaget, 1970).

Apabila konsepsi alternatif yang dibangun oleh peserta didik mengalami pertentangan secara fundamental dengan konsep ilmiah yang diakui oleh para ahli, maka kondisi tersebut diklasifikasikan sebagai miskonsepsi (Hammer, 1996).

b. Pengertian Miskonsepsi

Driver dan Oldham (1986) menyatakan bahwa miskonsepsi merupakan konstruksi gagasan alternatif peserta didik yang tidak sinkron dengan penjelasan ilmiah formal, namun memiliki struktur yang koheren dalam logika berpikir internal peserta didik. Driver dan Oldham (1986) menekankan bahwa miskonsepsi bukan sekadar bentuk ketidaktahuan atau ketiadaan pengetahuan (*lack of knowledge*), melainkan sebuah skema penjelasan yang salah tetapi dianggap benar oleh peserta didik untuk mengonseptualisasikan fenomena fisik (Driver & Oldham, 1986).

Novak (2002) melalui perspektif asimilasi kognitif mendefinisikan miskonsepsi sebagai suatu cacat interpretasi konseptual (*conceptual flaws*) yang terjadi akibat adanya kesalahan dalam menghubungkan proposisi antara konsep baru dengan konsep lama yang telah ada di dalam memori jangka panjang. Novak (2002) menggarisbawahi bahwa kesalahan pengaitan proposisi ini mengakibatkan terbentuknya rantai kognitif yang keliru, sehingga peserta didik menerapkan aturan hukum

fisika secara tidak tepat pada situasi baru (Novak, 2002). Treagust (1988) mengemukakan bahwa miskonsepsi dalam pendidikan sains adalah pemahaman peserta didik yang menyimpang dari kurikulum sains standar dan bersifat sangat tegar serta sulit untuk disembuhkan melalui metode pembelajaran konvensional. Treagust (2006) juga menambahkan bahwa miskonsepsi memiliki sifat persisten yang tinggi karena sering kali didukung oleh keyakinan intuitif yang kuat, sehingga peserta didik cenderung menolak penjelasan ilmiah yang bertentangan dengan asumsi awal mereka.

Terjadinya miskonsepsi pada peserta didik tidak bersifat tunggal, melainkan dipicu oleh interaksi kompleks dari berbagai faktor psikologis, pedagogis, dan lingkungan (Fisher, 1985). Menurut Suparno (2013), faktor penyebab miskonsepsi dapat dikelompokkan secara rigid ke dalam lima sumber utama miskonsepsi: siswa, pendidik, buku teks, konteks, dan metode pembelajaran.

Tabel 2. 3. Penyebab Miskonsepsi

Sebab Utama	Sebab Khusus
Siswa	Pemikiran intuitif yang terlalu menyederhanakan fenomena abstrak, penalaran yang tidak logis, serta kegagalan peserta didik dalam mengaitkan prakonsepsi harian dengan hukum fisika formal.
Pendidik (Guru)	Kurangnya penguasaan konsep fisika secara komprehensif atau memiliki miskonsepsi pribadi berpotensi besar mentransfer bias pemahaman tersebut secara langsung kepada peserta didik selama proses pembelajaran di kelas berlangsung.
Buku Teks	Penyajian ilustrasi visual, skema diagram, maupun deskripsi tekstual dalam literatur cetak yang tidak presisi, sehingga memicu multi-interpretasi yang keliru pada struktur kognitif pembaca..
Konteks	Penggunaan bahasa sehari-hari yang tidak sejalan dengan definisi operasional ilmiah pengalaman

	siswa yang keliru, teman diskusi yang salah, penjelasan orang tua atau orang lain yang keliru.
Cara Mengajar	Penerapan metode pembelajaran yang berpusat pada guru (<i>teacher centered learning</i>) serta hanya menekankan pada hafalan rumus matematis tanpa membedah esensi fisis dari rumus tersebut.

Berdasarkan pemetaan teoretis pada Tabel 2.3, dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor penyebab miskonsepsi peserta didik saling berkaitan satu sama lain. Penalaran awal siswa yang bersifat intuitif dan keliru menjadi semakin kuat akibat pengaruh faktor eksternal. Hal tersebut seperti representasi diagram gaya yang kurang presisi di dalam buku teks, serta metode pembelajaran yang cenderung berpusat pada rumus (*formula-centered approach*) tanpa menanamkan esensi fisis secara mendalam.

Penggunaan bahasa sehari-hari yang rancu seperti penyamarataan istilah "massa" dan "berat" dalam interaksi sosial turut mengaburkan pemahaman siswa terhadap definisi operasional besaran tersebut dalam fisika (Clement, 1982). Akibatnya, pemahaman yang keliru ini tertanam kuat dan sulit diubah di dalam memori jangka panjang siswa. Oleh karena itu, pengembangan instrumen diagnostik empat tingkat (*four-tier*) dalam penelitian ini menjadi sangat krusial untuk melacak, memetakan, dan mengurai letak kesalahan konseptual tersebut secara presisi dan objektif.

4. Hukum Newton

Mekanika klasik atau mekanika Newton merupakan salah satu pilar utama dalam ilmu fisika yang mempelajari gerak benda dan penyebab

terjadinya gerak tersebut. Penyebab utama dari perubahan gerak benda diidentifikasi sebagai gaya ($\vec{F}$), yang secara konseptual dirumuskan secara sistematis oleh Sir Isaac Newton melalui tiga hukum gerak. Ketiga hukum ini bersifat hierarkis dan prasyarat, di mana pemahaman konsep yang lemah pada salah satu hukum akan memicu terjadinya miskonsepsi yang mendalam pada hukum-hukum berikutnya.

Ketiga Hukum Newton pada dasarnya menjelaskan hubungan antara gaya (*force*) dan gerak (*motion*) suatu benda. Gaya didefinisikan sebagai besaran vektor yang dapat menyebabkan benda mengalami perubahan kecepatan (percepatan), sedangkan gerak benda dijelaskan melalui besaran-besaran kinematis seperti posisi, kecepatan, dan percepatan (Serway & Jewett, 2018). Pemahaman yang utuh terhadap konsep gaya dan Interaksinya dengan gerak benda merupakan prasyarat penting bagi siswa untuk dapat memahami fenomena mekanika secara benar, baik dalam konteks akademik maupun kehidupan sehari-hari.

a. Hukum Newton I

Hukum I Newton, yang juga dikenal sebagai *Hukum Inersia*, dirumuskan oleh Sir Isaac Newton dalam karyanya *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Giancoli, 2014). Sebelum Newton merumuskan hukum tersebut, pandangan Aristoteles yang berkembang berabad-abad sebelumnya menyatakan bahwa keadaan alami suatu benda adalah diam, dan benda yang diberi gaya dorong pada permukaan akan selalu melambat dan berhenti dengan sendirinya (Serway & Jewett,

2018). Pandangan ini kemudian dikoreksi oleh Galileo Galilei melalui eksperimen pemikirannya pada abad ke-17, yang menunjukkan bahwa apabila gesekan dapat dihilangkan, benda yang diberi dorongan awal pada permukaan datar akan terus bergerak tanpa berhenti, sehingga bergerak dengan kecepatan konstan sama wajarnya dengan keadaan (Giancoli, 2014).

Berdasarkan landasan pemikiran Galileo tersebut, Newton merumuskan Hukum I Newton yang menyatakan bahwa setiap benda akan tetap berada pada keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali terdapat gaya total (resultan gaya) yang bekerja padanya untuk mengubah keadaan tersebut (Giancoli, 2014; Serway & Jewett, 2018). Hukum ini juga dikenal sebagai hukum kelembaman, karena pada dasarnya menjelaskan kecenderungan benda untuk melawan perubahan keadaan geraknya (Halliday dkk., 2010). Secara matematis, Hukum I Newton dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad (1)$$

di mana $\Sigma \vec{F}$ adalah resultan seluruh gaya yang bekerja pada benda.

Apabila resultan gaya yang bekerja pada suatu benda sama dengan nol, maka berlaku dua kemungkinan kondisi benda, yaitu benda dalam keadaan diam, yang disebut keseimbangan statis, atau benda bergerak dengan kecepatan konstan/bergerak lurus beraturan, yang disebut keseimbangan dinamis (Serway & Jewett, 2018). Kedua kondisi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\vec{v} = 0 \text{ (benda diam)} \quad (2)$$

$$\vec{v} = \text{konstan (benda bergerak lurus beraturan)} \quad (3)$$

dengan v adalah kecepatan benda (m/s). Konsekuensi dari hukum ini adalah percepatan benda sama dengan nol ($a = 0$) ketika resultan gaya bernilai nol, sesuai hubungan Hukum II Newton:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (4)$$

Apabila $\Sigma F = 0$, maka diperoleh:

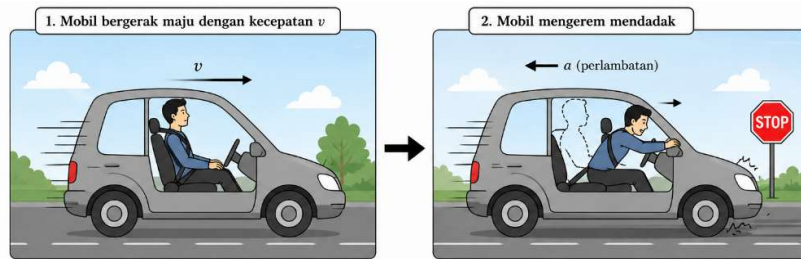
$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m} = \frac{0}{m} = 0 \quad (5)$$

Inersia didefinisikan sebagai sifat alami benda untuk mempertahankan keadaan geraknya, baik dalam keadaan diam maupun bergerak dengan kecepatan konstan (Giancoli, 2014). Konsep ini sejalan dengan definisi yang dikemukakan oleh Serway dan Jewett (2018), yang menyatakan bahwa inersia adalah kecenderungan suatu benda untuk melanjutkan keadaan geraknya semula tanpa adanya pengaruh dari luar. Besarnya inersia suatu benda berbanding lurus dengan massanya; semakin besar massa suatu benda, semakin besar pula inersianya, sehingga semakin sulit benda tersebut diubah keadaan geraknya (Halliday, Resnick, & Walker, 2010). Hubungan ini secara konseptual dapat dipahami melalui persamaan berikut:

$$\vec{a} = \vec{F}/m \quad (6)$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa untuk gaya F yang sama, benda dengan massa m yang lebih besar akan menghasilkan percepatan a yang

lebih kecil (Serway & Jewett, 2018). Itulah sebabnya massa sering disebut sebagai ukuran kuantitatif dari inersia suatu benda (Giancoli, 2014).



Gambar 2. 1. Ilustrasi Hukum I Newton pada peristiwa mobil yang bergerak kemudian melakukan pengereman mendadak

Berdasarkan Gambar 2.1, Gambar di atas menggambarkan dua kondisi yang berurutan secara temporal untuk menunjukkan keberlakuan Hukum I Newton. Pada kondisi awal, mobil bergerak maju dengan kecepatan v . Penumpang yang duduk di dalam mobil ikut bergerak dengan kecepatan yang sama dengan mobil ($\vec{v}_{penumpang} = \vec{v}_{mobil}$), karena tidak ada gaya total yang membuat penumpang dan mobil bergerak relatif satu sama lain. Posisi tubuh penumpang tegak dan diam relatif terhadap kursi mobil. Kondisi ini sesuai dengan pernyataan Hukum I Newton bahwa benda yang bergerak akan tetap bergerak lurus beraturan selama tidak ada resultan gaya yang bekerja padanya, sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (1) hingga (3). Dalam konteks ini, sistem penumpang–mobil berada dalam keseimbangan dinamis, sehingga gaya gerak (inersia) tubuh penumpang searah dan sebesar gaya gerak mobil.

Pada kondisi kedua, pengemudi melakukan pengereman mendadak sehingga timbul gaya perlambatan a yang bekerja pada mobil dengan arah berlawanan terhadap arah gerak. Gaya pengereman ini bekerja langsung pada mobil melalui sistem rem dan roda, sehingga kecepatan mobil berkurang secara drastis. Akan tetapi, tubuh penumpang tidak mengalami gaya pengereman secara langsung, karena gaya gesek rem hanya bekerja pada roda dan mobil, bukan pada tubuh penumpang.

Akibatnya, sesuai dengan sifat inersia, tubuh penumpang cenderung mempertahankan keadaan geraknya semula, yaitu tetap bergerak maju dengan kecepatan v sesaat sebelum pengereman terjadi, sementara mobil sudah melambat. Hal inilah yang menyebabkan tubuh penumpang terdorong ke depan relatif terhadap mobil. Fenomena ini dapat dijelaskan secara matematis. Mobil mengalami perlambatan sebesar:

$$\vec{a}_{mobil} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{t} \quad (7)$$

dengan v_0 adalah kecepatan awal sebelum rem (m/s), v_t adalah kecepatan akhir setelah rem (m/s) yang mendekati nol, dan t adalah selang waktu pengereman (s).

Sementara itu, karena tidak ada gaya eksternal yang bekerja langsung pada tubuh penumpang, maka berlaku:

$$\Sigma \vec{F}_{penumpang} \approx 0 \rightarrow \vec{v}_{penumpang} \approx \vec{v}_0 \text{ (tetap)} \quad (8)$$

Perbedaan kecepatan antara tubuh penumpang ($\vec{v}_0$) dan mobil ($\vec{v}_t$) inilah yang menimbulkan gerak relatif tubuh penumpang ke depan terhadap kabin mobil, yang dirasakan sebagai dorongan ke depan. Sabuk

pengaman yang terlihat pada Gambar 2.1 berfungsi memberikan gaya eksternal pada tubuh penumpang agar ikut mengalami perlambatan bersama mobil, sehingga mencegah penumpang terlempar lebih jauh ke depan.

b. Hukum Newton II

Hukum II Newton menjelaskan hubungan antara gaya, massa, dan percepatan suatu benda. Berbeda dengan Hukum I Newton yang berlaku ketika resultan gaya sama dengan nol, Hukum II Newton berlaku ketika resultan gaya yang bekerja pada benda tidak sama dengan nol, sehingga benda mengalami perubahan kecepatan atau percepatan (Giancoli, 2014). Hukum II Newton menyatakan bahwa percepatan yang dialami oleh suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya, berbanding terbalik dengan massa benda tersebut, serta searah dengan resultan gaya yang bekerja. Secara matematis, Hukum II Newton dirumuskan sebagai berikut.

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m} \quad (9)$$

dengan keterangan:

$\Sigma \vec{F}$ = resultan gaya yang bekerja pada benda (N)

m = massa benda (kg)

$\vec{a}$ = percepatan benda (m/s^2)

Dari persamaan tersebut terlihat secara eksplisit dua hal penting, yaitu: (1) percepatan $\vec{a}$ berbanding lurus dengan resultan gaya $\Sigma \vec{F}$,

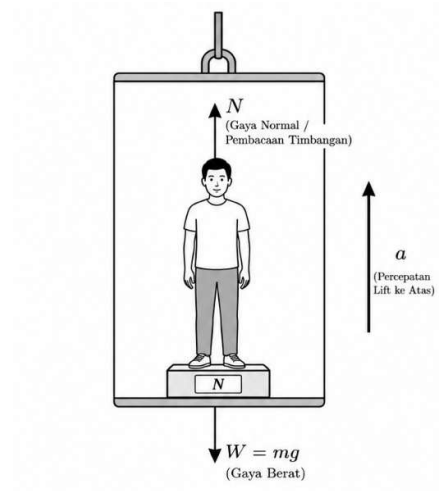
semakin besar gaya yang diberikan, semakin besar pula percepatan yang dihasilkan; dan (2) percepatan $\vec{a}$ berbanding terbalik dengan massa m , semakin besar massa benda, semakin kecil percepatan yang dihasilkan untuk gaya yang sama. Arah percepatan selalu sama dengan arah resultan gaya yang bekerja pada benda (Giancoli, 2014).

Sebelum membahas penerapan Hukum II Newton pada ilustrasi, perlu dipahami dua gaya mendasar yang sering muncul dalam persoalan dinamika, yaitu gaya berat dan gaya normal (Giancoli, 2014). Gaya berat (W) adalah gaya gravitasi yang bekerja pada suatu benda, dirumuskan sebagai berikut:

$$\vec{W} = m \cdot \vec{g} \quad (10)$$

dengan $\vec{g}$ adalah percepatan gravitasi bumi. Gaya normal (N) adalah gaya kontak yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan sentuh antara dua benda, sebagai reaksi dari permukaan yang menahan benda agar tidak menembus permukaan tersebut. Pada keadaan benda diam di atas permukaan datar tanpa percepatan, gaya normal sama besar dengan gaya berat ($\vec{N} = \vec{W} = m\vec{g}$). Namun, ketika benda mengalami percepatan dalam arah vertikal, gaya normal tidak lagi sama dengan gaya berat, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.2 berikut.

Hukum II Newton dapat diamati pada fenomena seperti pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2. Ilustrasi Hukum II Newton pada orang yang berdiri di atas timbangan dalam lift yang bergerak naik dengan percepatan a

Pada Gambar 2.2 menggambarkan seseorang dengan massa m berdiri di atas timbangan badan di dalam lift yang bergerak naik dengan percepatan $\vec{a}$. Pada sistem tersebut, terdapat dua gaya utama yang bekerja pada tubuh orang tersebut secara vertikal, yaitu gaya berat, yang arahnya selalu ke bawah, dan gaya normal, yang arahnya ke atas dan ditunjukkan oleh angka pada timbangan.

Karena lift bergerak naik dengan percepatan $\vec{a}$, maka resultan gaya pada tubuh orang tersebut tidak sama dengan nol, sehingga berlaku Hukum II Newton, bukan Hukum I Newton. Dengan mengambil arah ke atas sebagai arah positif, resultan gaya yang bekerja pada orang tersebut menurut Hukum II Newton adalah

$$\Sigma \vec{F} = \vec{N} - m\vec{g} \quad (11)$$

Karena sistem mengalami percepatan ke atas, maka berdasarkan Persamaan (9), diperoleh:

$$\vec{N} - m\vec{g} = m\vec{a} \quad (12)$$

Dengan menyusun ulang persamaan untuk mencari nilai N , diperoleh:

$$\vec{N} = m\vec{a} + m\vec{g} \quad (13)$$

$\vec{N} = m(\vec{g} + \vec{a})$

Persamaan inilah yang menjadi hasil akhir analisis gaya pada Gambar 2.2, yang menunjukkan bahwa gaya normal yang terbaca pada timbangan bergantung pada percepatan lift, bukan hanya pada massa dan gravitasi saja.

c. Hukum Newton III

Hukum III Newton merupakan hukum yang menjelaskan sifat dasar dari setiap interaksi antara dua benda, yaitu bahwa gaya tidak pernah muncul secara tunggal, melainkan selalu hadir dalam pasangan yang saling berlawanan (Giancoli, 2014). Hukum ini menyatakan Jika suatu benda mengerjakan gaya pada benda lain (gaya aksi), maka benda yang kedua tersebut akan mengerjakan gaya pada benda pertama (gaya reaksi) yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan. Secara matematis, Hukum III Newton dirumuskan sebagai:

$$\vec{F}_{aksi} = -\vec{F}_{reaksi} \quad (14)$$

atau dapat pula dituliskan dalam bentuk:

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A} \quad (15)$$

atau dalam bentuk besar (nilai skalar):

$$|\vec{F}_{A \rightarrow B}| = |\vec{F}_{B \rightarrow A}| \quad (16)$$

dengan keterangan:

$\vec{F}_{aksi} (\vec{F}_{A \rightarrow B})$ = gaya yang diberikan oleh benda A pada benda B

$\vec{F}_{reaksi} (\vec{F}_{B \rightarrow A})$ = gaya yang diberikan oleh benda B pada benda A

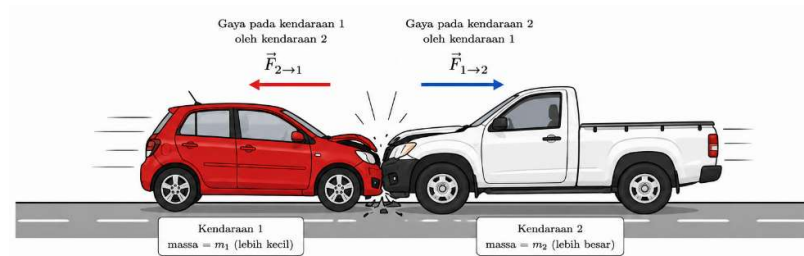
Tanda negatif pada persamaan tersebut menunjukkan bahwa kedua gaya tersebut sama besar namun berlawanan arah. Notasi vektor digunakan untuk menegaskan bahwa gaya merupakan besaran vektor yang memiliki nilai (besar) dan arah, sehingga hubungan aksi–reaksi tidak hanya berlaku pada besarnya gaya, tetapi juga pada arah gaya yang berlawanan secara tegas (Giancoli, 2014).

Terdapat tiga karakteristik penting yang membedakan pasangan gaya aksi–reaksi dengan pasangan gaya lain, misalnya pasangan gaya berat dan gaya normal yang dibahas pada Hukum II Newton (Giancoli, 2014), yaitu sebagai berikut: 1) Bekerja pada dua benda yang berbeda. Gaya aksi bekerja pada benda kedua, sedangkan gaya reaksi bekerja pada benda pertama. Pasangan aksi–reaksi tidak pernah bekerja pada benda yang sama. 2) Sama besar. Besar gaya aksi selalu sama dengan besar gaya reaksi. 3) Berlawanan arah. Arah gaya reaksi selalu berlawanan 180° terhadap arah gaya aksi, dan keduanya bekerja pada garis kerja (garis lurus) yang sama.

Penting untuk ditegaskan bahwa pasangan gaya aksi–reaksi terjadi secara bersamaan (simultan), bukan gaya aksi yang menyebabkan munculnya gaya reaksi secara berurutan dalam waktu. Kedua gaya

tersebut muncul dan hilang pada saat yang sama, selama interaksi antara kedua benda berlangsung.

Hukum III Newton dapat diamati pada fenomena seperti pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3. Ilustrasi penerapan Hukum III Newton pada peristiwa tabrakan mobil

Gambar di atas menyajikan konteks yang secara konseptual lebih kaya dibandingkan ilustrasi interaksi statis, karena melibatkan dua benda dengan massa yang berbeda ($m_1 \neq m_2$) yang saling bertumbukan secara langsung (Halliday, Resnick, & Walker, 2010). Konteks tabrakan kendaraan ini secara khusus mampu mengungkap miskonsepsi yang sangat umum di kalangan siswa, yaitu anggapan bahwa kendaraan yang lebih besar atau lebih berat selalu memberikan gaya yang lebih besar dalam suatu tumbukan (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992).

Dalam skenario pada Gambar 2.3, Kendaraan 1 mobil kecil berwarna merah dengan massa m_1 dan Kendaraan 2 truk pickup berwarna putih massa m_2 , dengan $m_2 > m_1$ bergerak dan kemudian saling bertabrakan. Terdapat dua gaya interaksi yang bekerja selama tumbukan berlangsung. Selama tumbukan, Kendaraan 1 mengerjakan

gaya kontak pada Kendaraan 2 dengan arah ke kanan (searah gerak Kendaraan 1), ditunjukkan oleh panah biru pada gambar. Gaya ini merupakan gaya aksi yang bekerja pada Kendaraan 2. Secara simultan, Kendaraan 2 mengerjakan gaya reaksi pada Kendaraan 1 dengan arah ke kiri (berlawanan dengan arah gerak Kendaraan 1), ditunjukkan oleh panah merah pada gambar. Gaya ini bekerja pada Kendaraan 1.

Sesuai dengan Hukum III Newton, kedua gaya tersebut memenuhi hubungan berikut:

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1} \quad (17)$$

$$|\vec{F}_{1 \rightarrow 2}| = |\vec{F}_{2 \rightarrow 1}| = F_{tumbukan} \quad (18)$$

yang berarti besar gaya yang dialami Kendaraan 1 (kecil) dan Kendaraan 2 (besar) adalah identik sama besar, meskipun massa keduanya berbeda.

Meskipun besar gaya tumbukan yang dialami kedua kendaraan sama, akibat gerak yang ditimbulkan tidak sama. Hal ini karena efek gaya terhadap gerak suatu benda tidak bergantung pada besar gaya saja, melainkan juga pada massa benda tersebut, sesuai dengan Hukum II Newton (Giancoli, 2014). Analisis percepatan masing-masing kendaraan dapat dilakukan secara terpisah sebagai berikut.

Percepatan Kendaraan 1 (massa m_1 , lebih kecil):

$$\Sigma F_1 = F_{tumbukan} = m_1 \cdot a_1 \quad (19)$$

$$a_1 = \frac{F_{tumbukan}}{m_1} \quad (20)$$

Percepatan Kendaraan 2 (massa m_2 , lebih besar):

$$F_2 = F_{tumbukan} = m_2 \cdot a_2 \quad (21)$$

$$a_2 = \frac{F_{tumbukan}}{m_2} \quad (22)$$

Karena $m_1 < m_2$, dan $F_{tumbukan}$ pada keduanya identik (Hukum III Newton), maka diperoleh perbandingan percepatan sebagai berikut:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_{tumbukan}/m_1}{F_{tumbukan}/m_2} = \frac{m_2}{m_1} > 1 \quad (23)$$

sehingga:

$$a_1 > a_2 \quad (24)$$

Persamaan ini secara eksplisit menunjukkan bahwa meskipun gaya yang bekerja pada kedua kendaraan sama besar (Hukum III Newton), percepatan yang dialami keduanya tidak sama karena bergantung pada massa masing-masing benda (Hukum II Newton) (Giancoli, 2014; Halliday, Resnick, & Walker, 2018). Kendaraan 1 yang bermassa lebih kecil akan mengalami percepatan yang jauh lebih besar dibandingkan Kendaraan 2, yang secara fisis menjelaskan mengapa kendaraan kecil mengalami kerusakan dan perubahan gerak yang jauh lebih besar dalam suatu tabrakan dengan kendaraan besar (Serway & Jewett, 2018). Keadaan ini secara ringkas dapat pula dituliskan dalam bentuk perbandingan langsung.

$$m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2 = F_{tumbukan} \quad (25)$$

yang merupakan konsekuensi langsung dari berlakunya Hukum II Newton secara independen pada masing-masing benda yang terlibat dalam pasangan aksi–reaksi Hukum III Newton.

B. Kajian Penelitian Yang Relevan

Kajian terhadap penelitian-penelitian yang relevan dilakukan untuk memperkuat landasan ilmiah, menunjukkan posisi penelitian dalam peta keilmuan, serta mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*) yang menjadi justifikasi dilaksanakannya penelitian ini. Berikut disajikan lima penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan instrumen *4 Tier Diagnostic Newton's Law Test* (4T-DNLT):

1. (Caleon dan Subramaniam, 2010) Melakukan penelitian bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan instrumen tes diagnostik empat tingkat (*four-tier diagnostic test*) guna mengidentifikasi miskonsepsi siswa mengenai konsep gelombang di Singapura. Penelitian ini menjadi pelopor yang pertama kali memperkenalkan format tes empat tingkat sebagai penyempurnaan dari format tes tiga tingkat. Instrumen yang dihasilkan terdiri atas 15 butir soal dengan menguji empat tingkatan independen, meliputi soal pilihan ganda konsep, skala keyakinan jawaban, pilihan alasan ilmiah atau miskonsepsi, serta skala keyakinan alasan. Melalui uji coba kepada 243 siswa sekolah menengah atas, hasil penelitian membuktikan bahwa instrumen empat tingkat mampu mengungkap miskonsepsi secara terperinci dan presisi tinggi dibandingkan format di bawahnya.
2. (Kaltakci-Gurel, Eryilmaz, & McDermott, 2016) berfokus pada pengembangan instrumen tes diagnostik empat tingkat untuk mengidentifikasi sekaligus mengeliminasi miskonsepsi siswa sekolah

menengah dan mahasiswa di Turki mengenai konsep cahaya dan penglihatan (*light and sight*). Prosedur pengembangan instrumen dilakukan secara sistematis melalui enam tahapan utama, yakni analisis konten, pengumpulan data awal lewat wawancara klinis, penulisan butir soal berbasis miskonsepsi, validasi ahli, uji coba, hingga analisis butir soal. Penelitian ini menghasilkan 14 butir soal yang valid dan memiliki reliabilitas tinggi dengan koefisien *Alpha Cronbach* sebesar 0,82.

3. (Pesman dan Eryilmaz, 2010) mengkaji tentang pengembangan instrumen tes diagnostik tiga tingkat (*three-tier test*) untuk mendeteksi miskonsepsi 124 siswa sekolah menengah di Turki pada konsep rangkaian listrik sederhana. Dengan mengadaptasi prosedur pengembangan dari Treagust (1988), instrumen ini menghasilkan 12 butir soal yang mengombinasikan pilihan ganda konsep pada tingkat pertama, skala keyakinan *Certainty of Response Index* (CRI) pada tingkat kedua, dan pilihan alasan pada tingkat ketiga. Hasil uji psikometri menunjukkan instrumen ini memiliki validitas isi yang baik dari panel ahli serta indeks reliabilitas Alpha Cronbach sebesar 0,75.
4. (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992) melalui pengembangan instrumen terkenal bernama *Force Concept Inventory* (FCI) untuk mengukur pemahaman konseptual sekaligus melacak miskonsepsi mekanika Newton pada ribuan siswa dan mahasiswa di Amerika Serikat. Soal FCI dikembangkan berdasarkan kajian literatur miskonsepsi terdahulu yang diperkaya dengan hasil wawancara intensif siswa untuk merancang pilihan

jawaban kecoh (*distractor*) yang mencerminkan miskonsepsi umum di lapangan. Instrumen ini menyediakan 30 butir soal pilihan ganda yang mencakup enam dimensi konseptual gaya, termasuk konsep Hukum I, II, dan III Newton.

5. (Gurel, Eryilmaz, dan McDermott, 2015) merupakan studi tinjauan sistematis (*systematic review*) yang mengkaji lebih dari 200 artikel jurnal internasional mengenai pengembangan instrumen diagnostik miskonsepsi sains (fisika, kimia, biologi) dari format satu tingkat hingga empat tingkat. Hasil tinjauan mereka menegaskan bahwa tes berjenjang tiga dan empat tingkat terbukti paling unggul dan objektif dalam mengidentifikasi miskonsepsi. Hal penting yang ditemukan dari studi ini adalah topik mekanika, khususnya Hukum Newton, merupakan materi dengan tingkat prevalensi salah konsep tertinggi dan paling sulit diubah.

Berdasarkan kajian terhadap kelima penelitian relevan di atas, dapat disimpulkan bahwa format tes diagnostik berjenjang, khususnya format empat tingkat, telah terbukti unggul dalam mengungkap miskonsepsi siswa secara lebih rinci dan presisi dibandingkan format tes konvensional, sebagaimana ditunjukkan oleh Caleon dan Subramaniam (2010) pada konsep gelombang dan Kaltakci-Gurel, Eryilmaz, dan McDermott (2016) pada konsep cahaya dan penglihatan. Namun demikian, instrumen diagnostik pada topik Hukum Newton selama ini masih didominasi oleh format satu tingkat, yakni Force Concept Inventory (FCI) yang dikembangkan oleh Hestenes, Wells, dan Swackhamer (1992), sehingga belum mampu membedakan secara tegas antara

siswa yang benar-benar memahami konsep, mengalami miskonsepsi, menjawab benar karena menebak, atau ragu-ragu terhadap jawabannya sendiri. Kondisi ini semakin krusial mengingat hasil tinjauan sistematis Gurel, Eryilmaz, dan McDermott (2015) yang menegaskan bahwa materi mekanika, khususnya Hukum Newton, merupakan topik dengan prevalensi miskonsepsi tertinggi sekaligus paling resisten terhadap perubahan konseptual. Dengan demikian, terdapat kesenjangan (research gap) yang jelas antara kebutuhan akan instrumen diagnostik berjenjang yang mampu mengidentifikasi miskonsepsi Hukum Newton secara komprehensif dengan ketersediaan instrumen yang ada saat ini. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar dan urgensi bagi peneliti untuk mengembangkan instrumen 4 Tier Diagnostic Newton's Law Test (4T-DNLT), yang mengadopsi keunggulan struktur tes empat tingkat sebagaimana dirintis oleh Caleon dan Subramaniam (2010) serta Kaltakci-Gurel dkk. (2016), namun secara khusus difokuskan pada materi Hukum Newton yang sebelumnya hanya diukur melalui instrumen satu tingkat seperti FCI.

C. Kerangka Berpikir

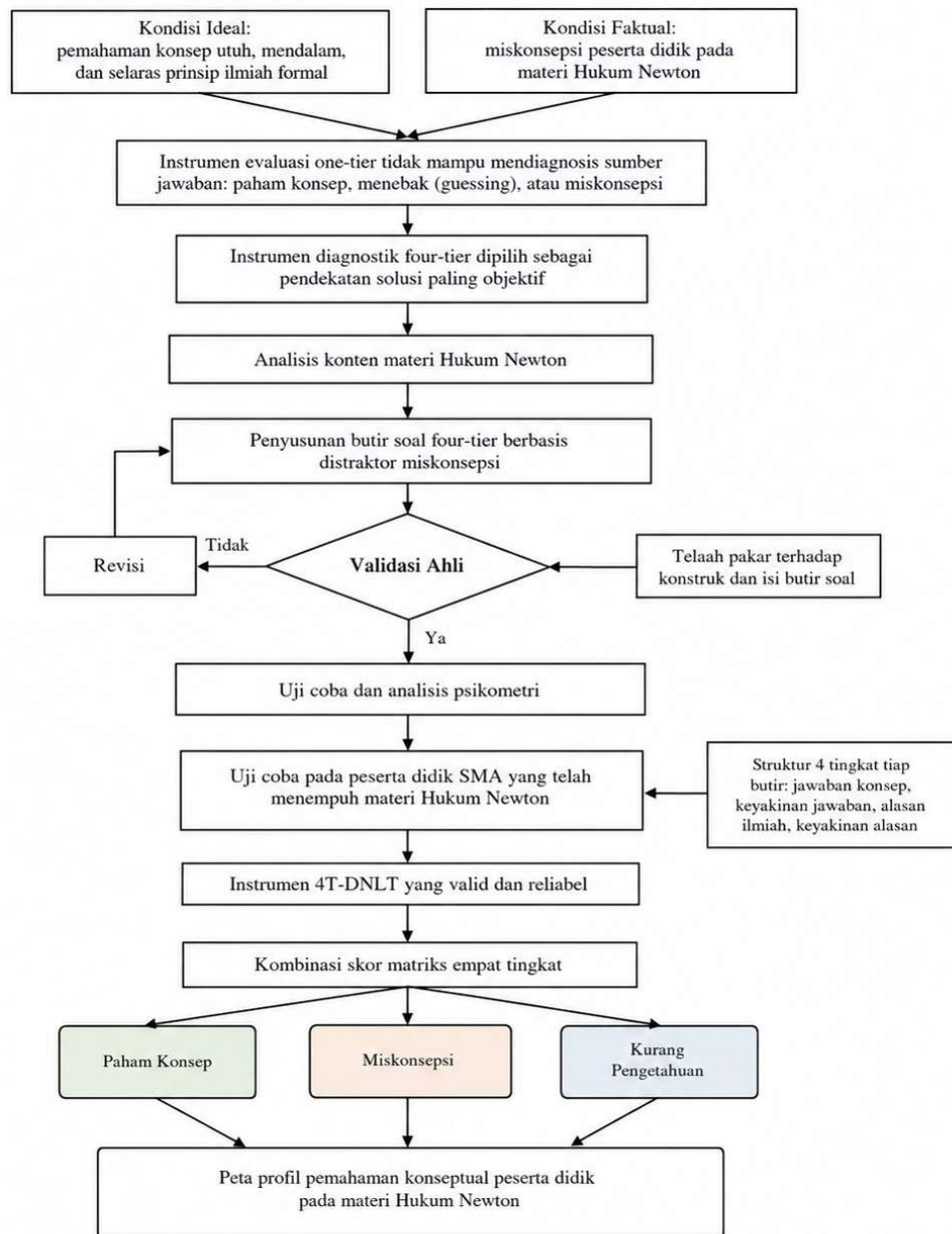
Pembelajaran fisika pada materi Hukum Newton idealnya mampu menghantarkan peserta didik untuk mencapai pemahaman konsep yang utuh, mendalam, dan selaras dengan prinsip-prinsip ilmiah formal. Namun pada kenyataannya, di dalam ruang kelas sering kali dijumpai hambatan kognitif berupa miskonsepsi yang dialami oleh peserta didik pada topik mekanika ini. Masalah utama semakin diperparah karena instrumen evaluasi konvensional satu tingkat (*one-tier*) yang selama ini digunakan di sekolah hanya mampu

mengukur hasil akhir kuantitatif saja. Alat ukur tersebut tidak memiliki kemampuan diagnostik untuk mendeteksi apakah jawaban benar yang dipilih oleh siswa lahir dari pemahaman yang sah, faktor kebetulan menebak (*guessing*), atau justru bersumber dari miskonsepsi yang tertanam kuat.

Mengatasi keterbatasan dari instrumen konvensional tersebut, pendekatan penelitian ini diarahkan pada pemanfaatan instrumen evaluasi berjenjang yang memiliki tingkat presisi diagnostik tinggi. Berdasarkan kajian empiris teoretis, format tes diagnostik empat tingkat (*four-tier*) diakui sebagai salah satu model instrumen pilihan ganda terbaik yang paling objektif untuk mengurai distorsi pemahaman serta memisahkan unsur tebakan dari struktur kognitif siswa. Model pengembangan produk dalam penelitian ini mengacu pada prosedur pengembangan instrumen diagnostik standar yang diadaptasi dari kajian empiris terdahulu. Prosedur tersebut dilakukan secara sistematis dan ketat meliputi tahap analisis konten materi Hukum Newton, penulisan draf butir soal empat tingkat berbasis pilihan pengecoh (*distractor*) miskonsepsi, validasi konstruk dan isi oleh para ahli, hingga tahap uji coba serta analisis psikometri.

Implementasi dari produk yang dikembangkan dalam penelitian ini ditujukan kepada subjek penelitian, yaitu peserta didik di sekolah menengah yang telah mendapatkan materi pembelajaran Hukum Newton. Setiap butir soal dalam instrumen ini didesain secara terstruktur dan konsisten untuk menguji objek pemahaman konsep siswa melalui empat tingkatan terintegrasi, meliputi: pilihan jawaban konsep, tingkat keyakinan jawaban, pilihan alasan ilmiah, dan tingkat keyakinan alasan. Luaran (*output*) yang dihasilkan dari penelitian dan

pengembangan ini adalah sebuah produk instrumen *4 Tier Diagnostic Newton's Law Test* (4T-DNLT) yang valid dan reliabel. Melalui kombinasi skor matriks dari keempat tingkatan tersebut, luaran penelitian ini mampu memetakan secara holistik posisi pemahaman peserta didik ke dalam kategori: Paham Konsep, Miskonsepsi, dan Kurang Pengetahuan. Hasil pemetaan kognitif inilah yang menjadi capaian akhir untuk memberikan gambaran objektif mengenai peta kekuatan dan kelemahan konseptual siswa pada materi Hukum Newton.



Gambar 2. 4. Bagan Kerangka Berpikir Penelitian Pengembangan Instrumen 4T-DNLT

D. Hipotesis

Berdasarkan kerangka berpikir dan permasalahan yang telah dipaparkan, maka hipotesis dalam penelitian pengembangan ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Instrumen *4-Tier Diagnostic Newton's Law* (4T-DNLT) yang dikembangkan dikategorikan layak dan valid untuk digunakan sebagai alat diagnosis miskonsepsi pada materi Hukum Newton.
2. Instrumen *4-Tier Diagnostic Newton's Law* (4T-DNLT) memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi sehingga konsisten dalam mengklasifikasikan status kognitif siswa.
3. Instrumen *4-Tier Diagnostic Newton's Law* (4T-DNLT) mampu mengungkap profil miskonsepsi siswa secara spesifik pada konsep-konsep esensial Hukum Newton.