

KONSEPSI ALTERNATIF MAHASISWA PADA RANAH MEKANIKA: ANALISIS UNTUK KONSEP IMPETUS DAN KECEPATAN BENDA JATUH

Syuhendri

Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Sriwijaya

E-mail: hendrisyukur@yahoo.com

Abstract: Has conducted research on student alternative conceptions diagnose concept impetus and velocity falling objects. Subjects were 73 students of physical education a public university in South Sumatra. Data collected by the test (18 items of the Force Concept Inventory), interviews, and observation of learning. From the results, an alternative conception of the respondents on the impetus in the form of 1) a moving object has derived impetus from the blow given (59.93 %), 2) objects owned impetus is lost or recovered during the movement of objects (30.14 %), 3) owned impetus slowly lost objects (40.87 %), 4) impetus objects appear some time after the cause no (19.41 %), and 5) impetus also occurs in a circular motion (54.11 %); and the speed of falling objects such as heavy objects fall faster (79.45 %). These results indicate that the respondents have a strong misconception that the force required to maintain the motion of objects and the mass or weight of the object affect the speed of a falling object. It is advisable to carry out the conceptual change theory -based learning on the subject-matter of mechanics to remediate non - scientific concepts such .

Keywords : Alternative Conceptions, impetus, falling objects speed.

PENDAHULUAN

Impetus dipahami sebagai “tenaga penyebab” atau “gaya intrinsik” yang mempertahankan benda tetap bergerak (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992). Walaupun logika seperti ini sudah ada sejak manusia mulai memikirkan gejala alam, konsep impetus pertama dikemukakan oleh Jean Burdian pada abad ke-14 untuk menjelaskan kenapa benda masih tetap bergerak meskipun pengaruh luar sudah dihilangkan. Misal, jika seorang melemparkan sebuah benda, benda akan tetap bergerak walaupun sudah lepas kontak dengan tangan. Dia mengemukakan ada tenaga yang ditransmisikan yang disebut impetus yang tetap bekerja pada benda (Halloun & Hestenes, 1985). Tenaga ini berasal dari tangan sipelempar dan ikut dalam benda yang akhirnya habis karena melawan hambatan medium. Konsep impetus ini kemudian juga dianut oleh Galileo.

Meskipun sudah lama terjadi, cara pandang seperti ini tetap saja muncul baik pada orang yang belajar fisika maupun tidak dan pada manusia umumnya. Bagi pelajar

fisika istilah yang paling mungkin mereka pakai untuk mengungkapkan konsep impetus ini adalah “gaya”. Jadi kesalahan konsep yang ada dalam diri pelajar adalah “gaya diperlukan untuk memepertahankan benda bergerak”. Konsepsi seperti ini menggambarkan ketidakpahaman terhadap hukum dasar mekanika, terutama Hukum I Newton. Ketidakpahaman ini tidak harus membuat pelajar gagal dalam menyelesaikan soal-soal hitungan.

Benda berat jatuh lebih cepat, konsep ini juga umum dimiliki oleh kalangan manapun, termasuk ahli fisika sekelas Aristoteles, bahkan Galileo atau Newton. Hukum benda-jatuh Aristoteles adalah kecepatan benda jatuh (v) berbanding lurus dengan berat benda (w) dan berbanding terbalik dengan hambatan medium (R), $v = w/R$ (Halloun & Hestenes, 1985). Untuk benda berbentuk dan berukuran sama yang jatuh bebas dari ketinggian sama, persamaan akan menghasilkan $v_1/v_2 = w_1/w_2$. Benda berat jatuh lebih cepat, berbanding lurus dengan beratnya.

Sama seperti pada persoalan impetus, memiliki konsep alternative benda berat jatuh lebih cepat juga tidak menghalangi pelajar untuk menggunakan rumus benda jatuh bebas $h = \frac{1}{2}gt^2$ dengan cepat, yang jika diminta menghitung waktu yang dibutuhkan benda untuk jatuh dengan cepat menurunkan persamaan menjadi $t = \sqrt{(2h/g)}$. Aneh, suatu pemikiran yang tidak punya koneksitas, satu sisi mereka menggunakan rumus waktu yang dibutuhkan benda untuk jatuh hanya tergantung ketinggian dan gravitasi (bukan pada massa atau berat), namun pada sisi lain mereka mengatakan benda yang lebih berat akan duluan sampai di tanah.

Persoalannya, kemampuan pelajar menyelesaikan soal hitungan pertama karena mereka di-*drill* sehingga mereka terampil menerapkan rumus. Kemudian tipe soal yang diberikan dominan pada tingkat aplikasi C3, sementara untuk aplikasi yang lebih tinggi misal analisis dan sintesis pelajar cenderung mengalami kesulitan. Lemahnya kemampuan pelajar dalam menerapkan pengetahuan fisika pada soal-soal yang menghendaki penjelasan fisis tercermin misal dari data-data PISA (*Program for International Student Assessment*) tahun 2006, 2009, dan 2012 dimana sains literacy pelajar Indonesia secara berturut-turut berada pada peringkat terakhir dari 57 negara, peringkat 57 dari 65 negara, dan peringkat 2 terakhir dari 65 negara. Hal yang sama juga terjadi jika pelajar dihadapkan pada soal-soal olimpiade yang merupakan soal-soal standar di sekolah negara maju. Di Indonesia, beberapa pelajar pilihan saja yang disiapkan dapat menyelesaikan soal tersebut. Ini berarti penguasaan pelajar terhadap fisika adalah rendah. Dengan kata lain, pelajar seperti itu sebenarnya belum bisa bicara fisika, mereka hanya terampil dalam menggunakan matematika. Padahal penguasaan konsep fisika sangat penting untuk memahami fisika dan menerapkannya dalam menjelaskan fenomena alam. Hestenes dan Halloun (1995) mengungkapkan hanya dengan penguasaan konsep mekanika 85% seorang dapat menerapkan mekanika dengan baik dan hanya dengan penguasaan konsep 65% seorang siap untuk belajar mekanika. Jika kurang dari itu pembelajaran dengan strategi tertentu yang dapat dilaksanakan.

Pembelajaran dengan strategi konvensional dilaporkan dalam banyak penelitian tidak pernah berhasil memperbaiki penguasaan konsep (misal lihat Lee & Park, 2012). Hal yang menjadi konsensus pendidik fisika bahwa pembelajaran tradisional tidak efektif merubah miskonsepsi (Johnston & Miller, 2000). Melalui strategi atau pendekatan yang tidak dimaksudkan untuk meremediasinya, miskonsepsi akan tetap berulang jadi miskonsepsi pada pelajar setelah pembelajaran selesai. Oleh karena itu analisis penguasaan konsep adalah suatu keniscayaan sebelum upaya belajar lebih lanjut. Tidak mungkin seseorang atau pelajar terbebas dari konsepsi non-saintifik sebesar apapun itu, kecuali seorang yang melebihi tokoh fisika seperti dikemukakan di atas. Data penelitian memberikan rata-rata penguasaan konsep mekanika mahasiswa baru Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya Tahun Ajaran 2012/2013 adalah 18,18% (Syuhendri, 2014) dan penguasaan konsep pada ranah yang sama untuk mahasiswa baru Tahun Ajaran 2013/2014 yang masuk melalui tiga jalur SBMPTN, SNMPT, dan USM berturut-turut adalah 13,42%, 14,12% dan 14,94% (Syuhendri, 2013). Temuan tersebut memperlihatkan. Miskonsepsi terbesar terjadi pada konsep benda jatuh bebas dan penguasaan konsep terendah terjadi untuk konsep impetus. Untuk itu diperlukan penelitian dengan tujuan melihat bagaimana konsepsi alternatif mahasiswa program studi pendidikan fisika tempat penelitian dilakukan untuk konsep impetus dan kecepatan benda jatuh. Hasil penelitian diharapkan mengungkapkan model-model penguasaan konsep non-saintifik yang dapat digunakan untuk memilih strategi pembelajaran perubahan konseptual yang cocok untuk meremediasi konsepsi tersebut.

METODE

Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan tes, wawancara, dan observasi pembelajaran. Data tes dikumpulkan dengan menganalisis 19 item dari instrumen *Force Concept Inventory (FCI)* versi 1995, sebuah instrumen untuk diagnosa penguasaan konsep pada ranah mekanika. Item yang dipilih

adalah yang berkaitan langsung dengan konsep impetus dan kecepatan benda jatuh. Total responden penelitian adalah 73 orang. Wawancara dilakukan untuk menggali lebih dalam bagaimana bentuk pemahaman konsep dan alasan responden. Sampel untuk wawancara diambil sebanyak 9 orang, masing-masing 3 orang dari kelompok atas, sedang, dan bawah. Wawancara dilakukan selama 30 menit untuk tiap orang dan diperpanjang jika ditemukan hal yang perlu digali lebih lanjut. Catatan observasi selama pembelajaran terutama saat responden memberikan tanggapan terhadap pertanyaan dosen atau respon terhadap teman dan pendapat yang dikemukakan secara lisan atau tertulis dalam diskusi kelompok juga dianalisis untuk triangulasi data. Disamping analisis kualitatif tersebut juga dilakukan analisis kuantitatif untuk melihat persentase miskonsepsi responden.

FCI versi 1995 merupakan tes konsep standar untuk mekanika, terdiri dari 30 butir soal, yang sudah teruji validasi dan reliabilitasnya dan digunakan berulang-ulang di berbagai negara, baik untuk tingkat perguruan tinggi maupun sekolah menengah. Sekarang instrumen tersedia dalam 22 bahasa termasuk bahasa Indonesia di *website Modeling Instruction Arizona State University* Amerika Serikat pada <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>. Untuk instrumen yang dialihbahasakan dilakukan validasi terjemahan untuk menjamin kesamaan makna dan kesamaan

hasil. Kesamaan makna artinya kedua instrumen memiliki maksud yang sama dan kesamaan hasil artinya kedua instrumen bisa dipilih untuk dipakai karena akan memberikan data yang sama. Proses validasi dilakukan secara ketat dalam beberapa tahap yang diawali dengan versi awal sampai menghasilkan versi bahasa Indonesia melalui kegiatan-kegiatan *self-evaluation*, *peer-revition* oleh beberapa guru dan dosen, uji coba terbatas dan skala luas pada siswa sekolah menengah dan perguruan tinggi, serta *judgment* dan validasi pakar bahasa dan konten.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan terhadap semua pilihan responden pada 18 soal tes diagnostik yang diberikan. Analisis tidak sesederhana menghitung berapa jumlah jawaban benar dan jawaban salah. Setiap pilihan berhubungan dengan konsepsi tertentu, oleh karena itu setiap pilihan juga dianalisis sehingga satu soal akan mengungkap beberapa bentuk miskonsepsi dan satu bentuk miskonsepsi akan terdeteksi pada beberapa butir soal. Berdasarkan analisis tersebut didapatkan bentuk-bentuk konsepsi alternatif mahasiswa program studi pendidikan fisika tempat penelitian dilakukan seperti pada Tabel 1 di bawah. Persentase merupakan persentase rata-rata jumlah responden dari beberapa pilihan terkait.

Tabel 1. Konsepsi alternatif responden untuk konsep impetus dan kecepatan benda jatuh

	Konsepsi Alternatif	Persentase
1	Benda yang bergerak memiliki impetus yang berasal dari pukulan yang di berikan	59,93 %
2	Impetus yang dimiliki benda hilang atau pulih selama pergerakan benda	30,14 %
3	Impetus yang dimiliki benda hilang perlahan-lahan	40,87 %
4	Impetus benda muncul beberapa saat setelah penyebabnya ada	19,41 %
5	Impetus juga terjadi pada gerak melingkar	54,11 %
6	Benda berat jatuh lebih cepat	79,45 %

Dari Tabel 1 kelihatan bahwa sebahagian besar responden mengalami miskonsepsi tentang kecepatan benda jatuh, yaitu 79,45% responden menganggap benda berat jatuh lebih cepat. Miskonsepsi yang massif juga

terjadi pada pemahaman bahwa gaya diperlukan untuk mempertahankan gerak benda dengan berbagai bentuk konsepsi alternatifnya. Berikut dianalisis lebih dalam bagaimana bentuk konsepsi responden untuk

masing-masing konsepsi alternatif. Analisis didukung oleh hasil observasi dan wawancara.

1. Benda yang bergerak memiliki impetus dari pukulan yang diberikan

Ada 4 dari 18 soal dengan 9 pilihannya yang mengungkap konsepsi seperti ini. Disini responden memandang benda yang bergerak mesti memiliki sebab. Sebab bisa karena didorong atau dipukul. Mendorong atau memukul adalah suatu cara mentransfer gaya (impetus) kepada benda. Impetus ini akan masuk dan tinggal dalam benda dan membimbing benda untuk tetap bergerak.

Selagi impetus ada maka selama itu juga benda akan bergerak. Impetus akan habis karena melawan berbagai gaya yang menghambat gerak benda. Dalam wawancara mahasiswa mengemukakan benda akan berhenti bergerak kalau impetus ini sudah habis. Untuk benda yang dilempar vertikal ke atas, mereka mengatakan impetus habis di titik tertinggi sehingga benda tidak bisa lagi melanjutkan perjalanannya dan kembali ke bawah karena adanya tarikan gaya gravitasi. Beberapa bentuk pernyataan responden berdasarkan pilihan jawaban tes diagnostik yang mendukung miskonsepsi ini adalah seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Beberapa proposisi yang mendukung konsepsi alternatif 1

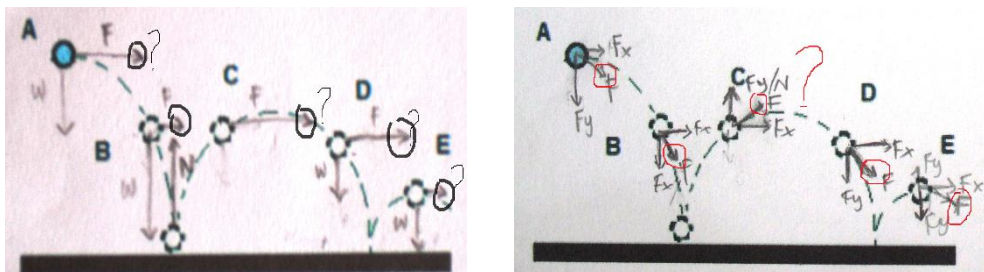
No	Ilustrasi	Indikasi Miskonsepsi
1		<p>Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa gaya yang bekerja pada sebuah bola yang ditembakkan ke dalam terowongan tanpa gesekan berbentuk lingkaran adalah:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) gaya gravitasi dan <u>gaya dalam arah gerakan bola</u> 2) gaya gravitasi, gaya dari dinding terowongan yang mengarah ke pusat lingkaran, dan <u>gaya dalam arah gerakan bola</u>. 3) gaya gravitasi, <u>gaya dalam arah gerakan bola</u>, dan gaya mengarah ke luar dari pusat bola.
2		<p>Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa gaya yang bekerja pada sebuah cakram sedang bergerak dengan kecepatan pada bidang horizontal tanpa gesekan dan kemudian dipukul mendatar adalah</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) gaya gravitasi dan <u>gaya dalam arah gerakan cakram</u>. 2) gaya gravitasi, gaya ke atas yang dikerjakan bidang datar, dan <u>gaya mendatar dalam arah gerakan cakram</u>
3		<p>Mahasiswa memiliki konsepsi benda akan terus bergerak dengan kelajuan konstan pada lantai horizontal meskipun gaya yang diberikan padanya (yang awalnya membuat benda bergerak dengan kelajuan konstan) dihilangkan</p>
4		<p>Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa gaya yang bekerja pada bola tenis yang melayang di udara setelah dipukul dengan raket adalah</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) gaya gravitasi dan <u>gaya oleh pukulan</u>. 2) <u>gaya oleh pukulan</u> dan gaya yang dikerjakan oleh udara. 3) gaya gravitasi, <u>gaya oleh pukulan</u>, dan gaya yang dikerjakan oleh udara.

Pada kasus 1 dalam Tabel 2 (bola bergerak dalam terowongan) indikasi mahasiswa memiliki miskonsepsi dibuktikan dengan tiga pilihan jawaban. Jawaban-jawaban tersebut merupakan pernyataan miskonsepsi yang paling dominan dimiliki responden. Pada jawaban tersebut ada persepsi bahwa ada gaya yang bekerja pada bola yang searah dengan gerakannya disamping gaya lain seperti gaya gravitasi, gaya dari dinding yang mengarah ke pusat lingkaran (sentrifugal) dan gaya yang mengarah ke luar dari pusat lingkaran (gaya sentrifugal). Keberadaan gaya sentrifugal ini juga bentuk miskonsepsi yang umum terjadi yang akan dibahas tersendiri pada tulisan lain. Jadi ada tiga jawaban dominan yang mengindikasikan miskonsepsi berkaitan dengan gaya yang bekerja pada bola dimana dimunculkan ada gaya yang bekerja searah gerakan benda. Berdasarkan diskusi kelompok, responden kadang-kadang menyebut gaya ini sebagai gaya dorong, artinya ada sesuatu yang terus mendorong benda sepanjang lintasan yang membuatnya tetap bergerak. Alasan mereka terhadap keberadaan gaya ini 1) karena bola mengikuti

bentuk lintasan yang dilaluinya, 2) gaya ini ada sehingga bola dapat berpindah dari titik ke titik.

Jawaban kasus 2 dan 4 memiliki panalaran yang sama dengan kasus 1. Hanya saja pada kasus 4 secara eksplisit disebutkan gaya berasal dari pukulan yang diberikan. Untuk kasus cakram ada 2 indikasi miskonsepsi dominan yaitu 1) gaya yang bekerja adalah gaya gravitasi dan gaya dalam arah gerakan cakram dan 2) gaya gravitasi, gaya ke atas yang dikerjakan bidang datar dan gaya dalam arah gerakan cakram. Adanya gaya yang bekerja pada cakram searah gerakannya adalah indikasi responden masih menganut paham impetus. Untuk kelompok responden dengan pilihan pertama, selain mengalami miskonsepsi impetus juga memperlihatkan ketidakpahaman tentang gaya normal. Konsep gaya normal ini juga banyak disalahpahami pelajar misal ketika menentukan pasangan gaya aksi-reaksinya.

Sejalan dengan kasus 4, hasil diskusi kelompok memperlihatkan gaya yang bekerja pada kelereng yang memantul dari lantai seperti gambar berikut.



Gambar 1. Responden melukiskan ada gaya yang bekerja searah gerak kelereng yang memantul pada lantai

Mahasiswa menggambarkan gaya searah gerakan baik secara sederhana mengarah ke kanan, atau sesuai garis singgung lintasan, maupun yang menguraikan menjadi komponen searah sumbu x dan sumbu y.

Adanya pandangan responden pada benda yang bergerak bebas seperti bola tenis yang melayang di udara atau bola bergerak dalam terowongan melingkar tanpa gesekan dan cakram pada bidang datar tanpa gesekan ada gaya yang bekerja adalah bukti yang kuat bahwa mahasiswa memegang konsep impetus, gaya diperlukan untuk membuat benda tetap bergerak. Hal ini jelas bertentangan dengan hukum I dan II Newton,

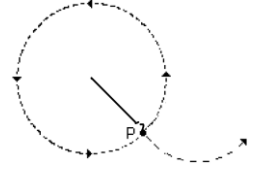
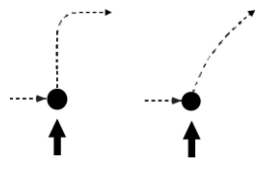
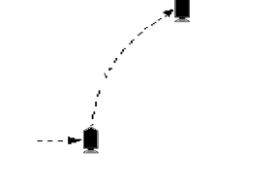
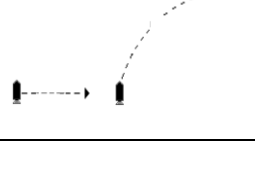
dimana benda akan tetap bergerak dengan kecepatan konstan jika sigma gaya yang bekerja padanya sama dengan nol. Sebaliknya bekerjanya gaya terus menerus pada benda akan secara kontinu menambah kecepatannya (baik arah maupun kelajuan atau keduanya). Oleh karena itu, konsepsi yang benar adalah hanya ada dua gaya yang bekerja pada bola dalam terowongan yaitu gaya gravitasi dan gaya dari dinding terowongan yang mengarah ke pusat lingkaran (sentrifugal); dua gaya pada cakram yaitu gaya gravitasi dan gaya ke atas yang dikerjakan bidang datar (gaya normal); dan hanya satu gaya pada bola tenis yaitu gaya gravitasi jika pengaruh udara

diabaikan. Keyakinan responden akan konsep impetus bisa ditransfer ke benda memaksa mereka berpikir melawan pengalaman keseharian seperti pada kasus 3. Pengalaman keseharian adalah benda akan berhenti bergerak kalau dorongan dihentikan, namun responden dengan konsepsi alternatif pertama ini masih menganggap benda terus bergerak dengan kelajuan konstan karena mereka yakin ada “gaya internal” yang sudah dimiliki benda dari dorongan semula.

2. Impetus yang dimiliki benda hilang atau pulih selama pergerakan benda

Ada 6 pilihan dari 4 soal yang mengungkap pemahaman ini. Resume pernyataan responden dari soal tersebut yang mendukung konsepsi alternatif 2 ini diperlihatkan pada Tabel 3 berikut

Tabel 3. Beberapa proposisi yang mendukung konsepsi alternatif 2

No	Ilustrasi	Indikasi Miskonsepsi
1		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan benda setelah tali putus ketika sedang berputar membentuk lintasan melingkar horizontal adalah seperti gambar di sebelah
2		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan cakram yang awalnya bergerak dari kiri ke kanan dengan kelajuan konstan pada bidang horizontal tanpa gesekan dan kemudian dipukul dalam arah tegak lurus adalah seperti gambar di sebelah
3		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan roket yang awalnya “hanyut” ke kanan dalam ruang angkasa tanpa pengaruh gaya luar dan kemudian mesinnya dihidupkan pada saat posisi roket tegak lurus terhadap arah hanyutan adalah seperti gambar di sebelah
4		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa jika roket pada cerita di atas tiba-tiba mesinnya mati, maka lintasannya akan menjadi seperti gambar di sebelah

Kasus 1 adalah sebuah benda diikat tali diputar membentuk lingkaran horizontal. Responden memilih lintasan benda setelah tali putus adalah keluar lintasan seperti ilustrasi 1. Responden dengan konsepsi alternatif kedua ini tidak memilih benda terlontar keluar tegak lurus garis singgung lintasan seperti lazimnya pada miskonsepsi gaya sentrifugal, akan tetapi gaya lontar keluar ini berkurang atau bertambah sehingga benda menyimpang ke arah gerakan semula. Beberapa argumentasi pelajar adalah 1) benda akan keluar dari lintasan semula, tetapi dengan lintasan seperti gambar karena masih terpengaruh gaya sentrifugal; 2) benda akan ke luar lintasan,

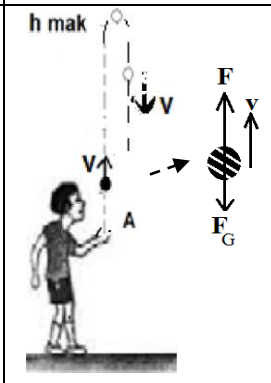
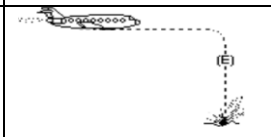
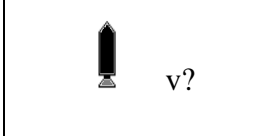
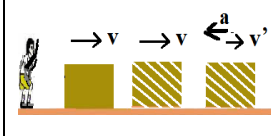
semula benda memiliki kecepatan sudut (ω) karena terjadi gerak melingkar, namun setelah tali putus perlahan kecepatan sudut berubah menjadi kecepatan linier dan lintasannya akan berubah menjadi garis lurus (setelah membelok); 3) bola akan mengarah keluar lintasan dengan sudut namun tetap pada arah yang sama, benda seperti itu karena adanya gaya sentrifugal. Pernyataan lintasan akan berubah menjadi garis lurus setelah membelok dari lintasan semula yang tegak lurus garis singgung karena gaya sentrifugal adalah bentuk penerapan konsep impetus yang bisa hilang atau pulih secara perlahan.

Kasus 2, 3, dan 4 merupakan lukisan lintasan dengan pola pikir yang sama dengan kasus 1.

3. Impetus yang dimiliki benda hilang perlahan-lahan.

Perbedaannya dengan konsep alternatif kedua adalah impetus yang ditransfer ke benda hilang secara perlahan alih-alih hilang atau muncul sekaligus. Ada 6 soal dengan 10 pilihan pernyataan yang mendukung konsepsi ini seperti pada Tabel 4 di bawah.

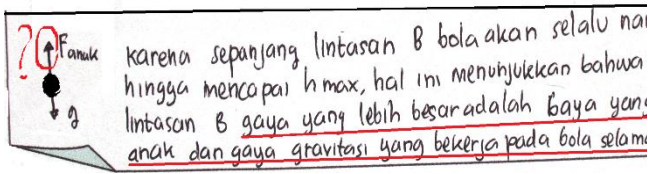
Tabel 4. Beberapa proposisi yang mendukung konsepsi alternatif 3

No	Ilustrasi	Indikasi Miskonsepsi
1		<p>Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa gaya yang bekerja pada benda yang dilemparkan vertikal ke atas setelah lepas kontak dengan tangan (gesekan udara dabaikan) adalah</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) gaya gravitasi dan <u>gaya ke atas yang berkurang secara beraturan.</u> 2) <u>gaya ke atas yang berkurang secara beraturan</u> sampai benda mencapai titik tertinggi dan ketika benda bergerak ke bawah gaya gravitasi yang bertambah secara beraturan. 3) gaya gravitasi yang hampir konstan dan <u>gaya ke atas yang berkurang secara beraturan</u> sampai titik tertinggi; dan hanya gaya gravitasi konstan pada saat benda bergerak ke bawah.
2		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan benda yang jatuh dari pesawat terbang yang sedang terbang mendarat dengan kelajuan konstan adalah seperti gambar di sebelah.
3		<p>Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa pada kasus roket di atas apabila mesin roket mati maka kelajuan roket setelah mesin mati</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) terus berkurang 2) konstan dan kemudian berkurang
4		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa jika gaya yang diberikan pada benda yang bergerak pada lantai horizontal dengan kelajuan konstan dihilangkan maka benda akan terus bergerak dengan kelajuan konstan dan kemudian melambat sampai berhenti.

Pada kasus 1 (benda dilemparkan vertikal ke atas), keberadaan konsepsi alternatif 3 diperlihatkan oleh pendapat responden bahwa ada gaya yang bekerja ke atas yang berkurang secara beraturan. Responden berasumsi ada gaya yang bekerja pada benda yang terus membawa benda ke atas setelah lepas kontak dengan tangan. Ini adalah bukti terang responden memiliki konsepsi gaya diperlukan untuk mempertahankan benda tetap bergerak. Berdasarkan wawancara, gaya ini terus bekerja pada benda dan berkurang secara perlahan sampai habis di titik tertinggi.

Karena gaya ke atas tidak ada lagi maka benda berhenti di titik tertinggi dan kembali lagi ke bawah akibat tarikan gaya gravitasi. Analisis lebih lanjut berdasarkan catatan diskusi responden menggambarkan pada saat benda bergerak ke atas gaya ke atas lebih besar dari gaya gravitasi. Ini adalah bentuk aplikasi penjumlahan gaya dan hukum II Newton yang keliru. Seyogianya jika ada dua gaya yang bekerja dalam arah berlawanan dan salah satu gaya lebih besar maka benda akan dipercepat ke arah gaya yang lebih besar (ke atas), $\sum F = ma$, jadi benda tidak akan semakin lambat ke atas seperti apa yang terjadi.

Perhatikan jawaban dan alasan responden ketika ditanya gaya apa yang bekerja pada bola dilempar vertikal ke atas pada kedudukan B (beregrak ke atas sebelum mencapai titik tertinggi).



Gambar 2. Konsepsi pelajar gaya keatas lebih besar dari gaya gravitasi sehingga bola bergerak keatas

Beberapa alasan lain adalah 1) karena pada titik B gaya yang bekerja ke atas lebih besar dari gaya yang bekerja ke bawah (aksi-reaksi), 2) karena gaya dorong ke atas harus lebih besar dari pada gaya gravitasi agar bola mencapai ketinggian maksimum. Alasan jawaban lain yang menyatakan ada gaya ke atas yang berasal dari anak dan gaya gravitasi ke bawah walaupun tidak harus sama besar adalah 1) karena bola dilemparkan ke atas (gaya vertikal ke atas) dan gaya gravitasi (ke bawah), 2) karena pada saat bola mencapai titik tertinggi gaya akan semakin kecil, sedangkan pada saat bola turun lintasan gayanya semakin panjang karena gaya gravitasinya semakin besar, 3) karena saat bola di tengah lintasan ia mempunyai $E_k = E_p$ sehingga titik setimbangnya berada di tengah antara gaya berat benda dan gaya yang diberikan anak saat melempar bola, dan 4) di kedudukan B bola mendapatkan gaya vertikal ke atas dari anak, bola mendapatkan yang

bernilai positif, saat berada di B ia [juga] mendapat gaya gravitasi yang bernilai negatif sehingga tak ada gaya yang bekerja.

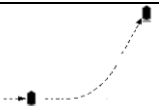
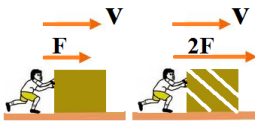
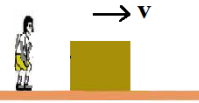
Dari penjelasan di atas jelas responden masih menganut kuat konsep impetus hilang secara perlahan. Berdasarkan alasan responden, hilangnya impetus ini karena melawan hambatan dari lingkungannya, bisa melawan gravitasi, gesekan udara, hembusan angin, atau hambatan lainnya. Pada kasus 2, 3, dan 4 diperlihatkan lagi bagaimana konsep impetus mempengaruhi pikiran mahasiswa dalam menjawab berbagai fenomena lainnya. Gaya yang diberikan pada benda akan tinggal di benda dan membuat benda tetap bergerak, namun akan habis perlahan sampai akhirnya benda berhenti. Pada kasus 4, responden berasumsi benda tetap bergerak untuk sementara dengan kelajuan konstan dan kemudian melambat sampai berhenti jika gaya yang diberikan dihilangkan alih-alih benda akan berhenti karena ada satu-satunya gaya yang bekerja yaitu gaya gesekan yang melawan gerak benda.

4. Impetus benda muncul beberapa saat setelah penyebabnya ada

Disini responden berpendapat bahwa gaya yang ditransmisikan ke benda tidak langsung berfungsi, perlu waktu sebelum pengaruh aktif (delay time). Ada 6 soal dengan 7 pilihan yang membuktikan konsepsi seperti ini pada responden seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Beberapa proposisi yang mendukung konsepsi alternatif 4

No	Ilustrasi	Bentuk miskonsepsi/aletrnatif konsepsi
1		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan cakram pada kasus 1.2 di atas adalah seperti gambar di sebelah.
2		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa kelajuan cakram pada kasus 1.2 di atas setelah dipukul adalah 1) terus bertambah 2) bertambah untuk sementara waktu dan kemudian berkurang

No	Ilustrasi	Bentuk miskonsepsi/aletrnatif konsepsi
3		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan roket pada kasus 2.3 di atas adalah seperti gambar di sebelah
4		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa jika seseorang mengerjakan gaya konstan pada sebuah benda yang menyebabkannya bergerak dengan kelajuan konstan pada lantai horizontal dan kemudian gaya diperbesar dua kali lipat maka benda tetap bergerak dengan kecepatan konstan untuk sementara dan kemudian bergerak dengan kelajuan yang semakin besar.
5		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa jika gaya yang diberikan pada benda di atas tiba-tiba dihentikan maka benda tetap bergerak dengan kelajuan yang semakin besar untuk sementara dan kemudian mulai melambat sampai berhenti.

Ilustrasi yang paling mudah dipahami adalah pada kasus 4. Pada kasus tersebut responden berpendapat benda masih tetap bergerak dengan kelajuan konstan beberapa saat setelah gaya dorong diperbesar dua kali lipat. Artinya gaya baru ini belum efektif bekerja, benda masih dalam kondisi awalnya. Cara pikir seperti ini identik dengan perilaku manusia yang tidak cepat merespon stimuli yang datang. Adakalanya seseorang sadar beberapa saat kalau dia masuk ruang yang salah. Fisik manusia kadangkala juga merasakan apa yang menyimpannya beberapa saat setelah kejadian berlalu. Respon yang tidak otomatis terjadi ini menimbulkan pemikiran bahwa gaya tidak langsung bekerja pada benda.

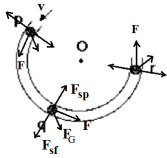
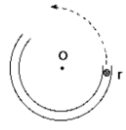
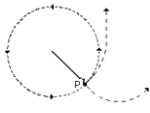
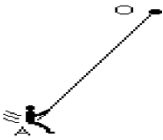
Pada kasus 1, 2, dan 3 diperlihatkan bagaimana konsepsi mahasiswa pada beberapa fenomena yang ada. Pada kasus cakram, mahasiswa memilih lintasan cakram tidak langsung tegak lurus arah semula melainkan beberapa saat masih mengikuti lintasan awal sebelum mengikuti arah pukulan yang diberikan. Kecepatan cakrampun dinyatakan masih terus bertambah untuk sementara waktu sebelum akhirnya berkurang. Identik dengan lintasan cakram, pada kasus roketpun lintasannya masih

digambarkan searah dengan lintasan semula sebelum kemudian berubah arah sesuai dorongan.

5. Impetus juga terjadi pada gerak melingkar

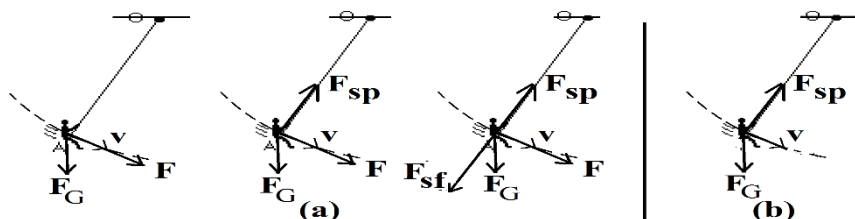
Kesalahan pemahaman tentang adanya impetus pada gerak melingkar diperlihatkan oleh 54,11% responden, suatu jumlah yang cukup besar. Kalau pada gerak lurus dipahami bahwa benda harus punya gaya agar tetap bisa bergerak, maka disini hal yang sama juga terjadi. Responden meyakini harus ada gaya yang bekerja pada benda sepanjang lintasan melingkarnya. Karena gaya yang bekerja mengikuti bentuk lintasannya, maka setelah keluar lintasanpun benda dianggap masih bergerak membentuk lingkaran, meneruskan pola gerakan semula. Ini dapat dibuktikan dengan konsepsi mahasiswa pada kasus 2, ketika bola sudah keluar dari lintasannya bola masih dianggap akan bergerak seperti sebelumnya. Ada 4 soal dengan 8 pilihan yang mengungkapkan konsepsi alternatif ini seperti tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Beberapa proposisi yang mendukung konsepsi alternatif 5

No	Ilustrasi	Bentuk miskonsepsi/aletrnatif konsepsi
1		Sama dengan kasus 1.1, mahasiswa memiliki konsepsi bahwa gaya yang bekerja pada sebuah bola yang ditembakkan ke dalam terowongan tanpa gesekan berbentuk lingkaran adalah: <ol style="list-style-type: none"> 1) gaya gravitasi dan <u>gaya dalam arah gerakan bola</u>. 2) gaya gravitasi, gaya dari dinding terowongan yang mengarah ke pusat lingkaran, dan <u>gaya dalam arah gerakan bola</u>. 3) gaya gravitasi, <u>gaya dalam arah gerakan bola</u>, dan gaya mengarah ke luar dari pusat bola.
2		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan bola pada kasus di atas (5.1) setelah keluar terowongan adalah seperti gambar di sebelah.
3		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa lintasan benda setelah tali putus pada kasus 2.1 di atas adalah seperti gambar di sebelah.
4		Mahasiswa memiliki konsepsi bahwa gaya yang bekerja pada anak yang sedang main ayunan adalah <ol style="list-style-type: none"> 1) gaya gravitasi dan <u>gaya dalam arah gerakan anak</u> 2) gaya gravitasi, gaya yang dikerjakan tali mengarah dari anak ke pangkal ayunan, dan <u>gaya dalam arah gerakan anak</u>.

Jawaban responden pada kasus 1 merupakan bukti keberadaan impetus pada gerak melingkar. Karena gaya bekerja searah dengan gerakan benda maka setelah benda keluar dari terowongan benda masih bergerak seperti pola dalam terowongan (kasus 2). Untuk benda yang diikat dengan tali pada kasus 2 hal yang sama juga terjadi, namun lintasan benda sedikit bergeser keluar dari pola lintasan semula. Sebahagian besar responden memberi

alasan benda memiliki lintasan yang terakhir ini karena adanya gaya sentrifugal yang bekerja pada benda selain gaya searah gerakan. Konsepsi responden berbeda untuk kasus 2 dan 3 berkaitan dengan keberadaan gaya sentrifugal. Keberadaan impetus pada gerak melingkar dengan jelas diperlihatkan pada gaya yang bekerja pada anak yang sedang main ayunan pada gambar 3.



Gambar 4. (a) Konsepsi pelajar dan (b) konsepsi saintifik untuk gaya yang bekerja pada anak yang sedang main ayunan.

6. Benda Berat jatuh lebih cepat

Ada dua soal untuk mendeteksi konsepsi ini. Dari dua soal yang ada, soal pertama langsung mengecek persepsi responden tentang hubungan berat benda dengan kecepatan jatuhnya. Bunyi soalnya “*Dua buah bola logam punya besar yang sama tapi berbeda berat, bola pertama beratnya dua kali lipat berat bola kedua. Bola tersebut dijatuhkan serentak dari atas sebuah gedung betingkat. Waktu yang dibutuhkan kedua bola untuk sampai ke tanah adalah?*”. Hanya 6 dari 73 responden atau 8,22% yang menjawab benar, yaitu kedua benda hampir bersamaan sampai di tanah. Sedangkan 86,3% responden menyatakan bahwa bola berat akan lebih dahulu sampai di tanah. 54% dari 86,3% mengatakan bola berat menggunakan waktu kurang lebih setengah dari waktu bola ringan, dan sisanya 46% mengatakan bola berat lebih duluan sampai walaupun waktunya tidak harus setengah dari waktu yang dibutuhkan bola ringan.

Soal kedua adalah “*Dua buah bola logam yang sama dengan soal pertama menggelinding di atas meja datar dengan kelajuan sama dan kemudian jatuh ke lantai. Pada situasi ini, tempat jatuh kedua bola di lantai diukur mendatar dari kaki meja adalah?*”. Soal ini tidak langsung mengecek konsepsi tentang pengaruh massa terhadap waktu jatuh. Ada variabel lain terlebih dahulu yang harus mereka cermati. Pertama, konsep tentang gerak menggelinding, kedua tentang gerak parabola dari titik tertinggi, dan terakhir konsep resultan gaya. Pada gerak menggelinding mereka juga harus menerapkan konsep tentang pengaruh massa terhadap gerak benda. Pada kesempatan lain responden menganggap bahwa massa dapat membuat benda berhenti, artinya massa yang besar membuat benda lebih cepat berhenti. Jadi untuk soal nomor 2 ini, responden harus menyelesaikan dulu beberapa konflik dalam pikirannya sebelum menjawab

hubungan massa (berat) dengan waktu jatuh. Hasilnya disini juga mencengangkan bahwa 72,6% responden memilih jawaban bola berat jatuh lebih dekat dibandingkan bola ringan. Dekatnya bola berat jatuh, menurut konsepsi seperti ini, karena bola berat jatuh lebih cepat! Walaupun secara saintifik dekat dan jauhnya benda jatuh pada peristiwa ini tidak ada hubungan dengan waktu jatuhnya. Seandainya kita melontarkan dua buah benda horizontal dari ketinggian yang sama, dengan kecepatan awal berbeda, maka benda dengan kecepatan awal lebih besar akan jatuh lebih jauh dari benda lainnya, tetapi waktu untuk sampai ke tanah adalah sama, karena tidak ada hubungan waktu yang dibutuhkan benda untuk jatuh dengan kecepatan awalnya.

Temuan penelitian pemahaman konsep mekanika untuk impetus dan kecepatan benda jatuh ini sejalan dengan penelitian dari berbagai negara. Trumper (1999) dalam studi longitudinal pada mahasiswa calon guru fisika mendapatkan sebahagian besar responden belum berhasil membuang konsep impetus Aristotelesnya. Bayraktar (2007) dengan FCI versi 1992 (29 item) menemukan miskonsepsi pada impetus dan kecepatan benda jatuh, walaupun tidak melaporkan adanya konsepsi alternatif impetus muncul beberapa saat setelah penyebabnya ada. Gönen (2008) mendapatkan mahasiswa calon guru mengalami miskonsepsi serius tentang konsep gaya gravitasi, percepatan gravitasi, dan berat. Narjaikaew (2013) dalam studi terhadap guru IPA mendapatkan responden umumnya mengalami miskonsepsi tentang impetus dan kecepatan benda jatuh, dimana mereka berpendapat gaya berasal dari tangan (untuk impetus) dan benda lebih berat jatuh lebih pendek waktunya dari benda ringan. Hal yang sama didapatkan oleh Luangrath dkk (2011) dimana 42% responden berpendapat bola berat jatuh lebih cepat dari bola ringan. Lebih jauh, Luangrath dan Vilaythong (2010) mendapatkan pelajar Laos berada pada

level pemahaman konsep yang rendah untuk mekanika. Hasil penelitian ini mengingatkan bahwa pembelajaran mekanika perlu merubah strategi agar sesuai kondisi yang ada (lihat Syuhendri, 2010).

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan didapatkan kondisi konsepsi alternatif mahasiswa pendidikan fisika calon guru tempat penelitian dilakukan pada ranah mekanika sebagai berikut:

1. Untuk konsep impetus, terdapat lima alternatif konsepsi yaitu 1) benda yang bergerak memiliki impetus yang berasal dari pukulan yang diberikan, 2) impetus yang dimiliki benda hilang atau pulih selama pergerakan benda, 3) impetus yang dimiliki benda hilang perlahan-lahan, 4) impetus benda muncul beberapa saat setelah penyebabnya ada, dan 5) impetus juga terjadi pada gerak melingkar. Tingkat miskonsepsi bervariasi antar 19,41% sampai 59,93% tanpa ada urutan hirarkis miskonsepsi pertama lebih tinggi dari miskonsepsi berikutnya.
2. Untuk konsep kecepatan benda jatuh, responden mengalami miskonsepsi yang serius dimana 79,45% berpendapat benda berat jatuh lebih cepat dibandingkan benda ringan atau dengan kata lain massa dan berat benda mempengaruhi kecepatan jatuhnya.

Disarankan penelitian lanjutan 1) untuk mengungkap latar belakang terbentuknya konsepsi non-saintifik pada pelajar, dan 2) mencoba berbagai strategi pembelajaran perubahan konseptual agar pemahaman konsep mekanika dapat meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

Bayraktar, S. (2009). Misconceptions of Turkish pre-service teachers about force and motion. *International*

Journal of Science and Mathematics Education, 7, 273-291.

Gönen, S. (2008). A Study on Student Teachers' Misconception about Mass and Gravity. *Journal of Science Education Technology*, 17, 70-81. doi:10.1007/s10956-007-9083-1.

Halloun, I. A., Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11).

Hestenes, D. & Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory: A response to Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33, 502-506.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.

Johnston, I., & Miller, R. (2000). Is There a Right Way to Teach Physics? *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 5(1).

Lee, H .S., & Park, J. (2012). Deductive Reasoning to Teach Newton's law of Motion. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11, 1391-1414.

Luangrath, P., & Vilaythong, T. (2010). An Analysis of the Students' Perceptions of Physics in Science Foundation Studies at the National University of Laos. *Canadian and International Education/Education canadienne et internationale*, 39(1), 32-40.

- Luangrath, P., Pettersson, S., & Benckert, S. (2011). On the Use of Two Version of the Force Concept Inventory to Tets Coceptual Understanding of Mechanics in Lao PDR. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 7(2), 103-114.
- Narjaikaew, P. (2013). Alternative Conceptions of Primary School Teachers of Science about Force and Motion. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 88, 250-257.
- Syuhendri. (2010). Pembelajaran Perubahan Konseptual: Pilihan Penulisan Skripsi Mahasiswa. *Forum MIPA*, 13(2), 133-140.
- Syuhendri, Mayanti, R. (2013). Analisis Pemahaman Konsep Mekanika Mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Tahun 1 dengan Menggunakan *Force Concept Inventory (FCI)* dan *Certainty of Response Index (CRI)*. *Laporan Penelitian*. FKIP Universitas Sriwijaya: Tidak diterbitkan.
- Trumper, R. (1999). A Longitudinal Study of Physics Students' Conceptions of Force in Pre- service Training for High School Teacher. *European Journal of Teacher Education*, 22(2-3), 247-258. doi: 10.1080/02619768990202047.