

## Analisis Pemahaman Konsep Siswa pada Hukum Newton

Shofi Hikmatuz Zahroh<sup>1\*</sup>, Parno<sup>1</sup>, Nandang Mufti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145

\*E-mail: zahrosovii@gmail.com

**Abstrak:** Keterampilan belajar dalam abad 21 merupakan standar kompetensi lulusan yang harus dicapai siswa. Keberhasilan siswa dalam menguasai keterampilan tersebut salah satunya dipengaruhi oleh pemahaman konsep. Pada materi Hukum Newton, konsep penting yang harus dimiliki siswa adalah konsep gaya dan pengaruhnya terhadap gerakan benda. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pemahaman konsep siswa pada materi Hukum Newton. Penelitian dilakukan pada 29 siswa kelas XI SMA di Malang. Penelitian dilakukan dengan menggunakan desain penelitian *follow-up explanation design*, yaitu dengan melakukan pengumpulan data secara kuantitatif dan dilanjutkan wawancara pada beberapa sampel penelitian. Penelitian menyimpulkan bahwa siswa memiliki konsepsi alternatif (miskonsepsi) terutama pada Hukum I Newton.

Kata kunci : pemahaman konsep, Hukum Newton

Pemahaman konsep merupakan kemampuan mendasar dan penting yang harus dimiliki siswa (Hill, dkk., 2015). Pemahaman berada pada level kognitif C2 pada taksonomi Bloom. Pemahaman konsep dibutuhkan dalam tingkatan level kognitif setelahnya, yaitu menerapkan, menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta.

Standar kompetensi lulusan yang tertulis dalam UU No. 20 Tahun 2016 menyatakan bahwa siswa SMA/ MA/ SMALB/ Paket C memiliki keterampilan kreatif, produktif, kritis, mandiri, kolaboratif, dan komunikatif. Beberapa keterampilan tersebut membutuhkan keterampilan berpikir tingkat tinggi (*higher order thinking skill* (HOTS)). Karena keterampilan HOTS berada pada level kognitif menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta, maka pemahaman konsep yang baik sangat diperlukan (Anderson & Krathwohl, 2001).

Penelitian tentang pemahaman konsep masih terus dilakukan hingga saat ini. Hal ini mengindikasikan bahwa pemahaman konsep merupakan sesuatu yang penting. Banyak penelitian tentang pemahaman konsep, baik untuk menganalisis miskonsepsi yang dialami siswa, menganalisis penyebab terjadinya miskonsepsi, ataupun dengan menggunakan metode dan model pembelajaran agar pemahaman konsep siswa menjadi lebih baik (Han, dkk., 2015; Hill, dkk., 2015; Marée, dkk., 2013; Taibu, dkk., 2015; Wang, 2014). Beberapa penelitian menemukan bahwa banyak siswa memiliki konsepsi alternatif (miskonsepsi) yang tidak sesuai dengan konsep fisika (Hestenes, dkk., 1992; Lin & Singh, 2015). Miskonsepsi dapat disebabkan kurangnya isu konseptual yang diberikan oleh buku pelajaran atau penggunaan bahasa yang terkadang masih keliru di beberapa buku pelajaran (Taibu, dkk., 2015). Konsepsi alternatif yang dimiliki siswa tersebut berdampak pada saat menyelesaikan permasalahan (*problem solving*) (Lin & Singh, 2015). Problem solving merupakan salah satu kompetensi yang harus dimiliki siswa saat lulus dari jenjang SMA.

Hukum Newton merupakan salah satu materi yang dipelajari pada semester genap kelas X. Sesuai dengan UU No. 24 Tahun 2016, konsep yang harus dikuasai siswa adalah konsep

gaya dan hubungannya dengan massa dan percepatan. Hukum Newton memiliki salah satu materi yang diperoleh siswa dengan nilai yang rendah. Rendahnya nilai dapat dipengaruhi oleh kurangnya pemahaman konsep siswa ataupun dapat dipengaruhi oleh adanya konsep alternatif (miskonsepsi) yang dimiliki siswa yang tidak sesuai dengan konsep fisika.

Miskonsepsi dapat dianalisis dengan menggunakan tes konseptual. Pada materi mekanika, beberapa instrumen untuk menganalisis pemahaman konsep siswa telah banyak dikembangkan. Instrumen tersebut antara lain *Mechanics Baseline Test* (MBT), *The Dynamic Concept Inventory* (DCI), *Force Concept Inventory* (FCI), *Force and Motion Conceptual Evaluation* (FCME). Di antara instrumen tersebut, instrumen yang sering digunakan dan dikembangkan hingga saat ini adalah FCI, MBT, dan FMCE dkk, 2015; Sutopo & Waldrup, 2014).

FCI merupakan instrumen yang dikembangkan oleh David Hestenes, Malcolm Wels, dan Gregg Swackhamer (Hestenes, dkk., 1992). FCI digunakan untuk menganalisis miskonsepsi yang dialami siswa. Selain itu, FCI juga dapat digunakan untuk mengevaluasi pembelajaran yang dilakukan.

Beberapa penelitian mengungkapkan miskonsepsi yang terjadi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Hestenes, dkk. (1992), miskonsepsi tersebut antara lain adanya konsep impetus (dorongan) yang dimiliki siswa. Impetus merupakan salah satu jenis gaya yang digunakan pada zaman pre-Galilean. Impetus merupakan gaya instrinsik yang membuat benda tetap bergerak. Jika benda bergerak, maka benda tersebut harus disuplai oleh impetus. Jika benda tersebut diam, maka tidak ada impetus tidak bekerja pada benda tersebut. Dalam konsep impetus, siswa juga memiliki miskonsepsi lain yang disebut “*container metaphor*” dan “*training metaphor*”. Konsep “*Container Metaphor*” yaitu setiap objek seperti container yang dapan menyimpan impetus, seperti mobil menyimpan gas. Konsep “*Training Metaphor*”, yaitu objek akan cenderung bergerak sesuai dengan gerakan sebelumnya.

Miskonsepsi lain yang dialami siswa pada materi Hukum Newton adalah konsep pasangan aksi reaksi (Hestenes, dkk., 1992). Siswa memandang pasangan aksi reaksi sebagai perjuangan antara gaya yang berlawanan arah. Dalam aksi-reaksi, terjadi “prinsip dominasi”, yaitu benda yang lebih kuat (bermassa lebih besar, bergerak lebih aktif) akan memberikan gaya yang lebih besar daripada pasangan reaksinya. Selain itu, siswa juga mengalami kebingungan dalam membedakan antara pasangan aksi reaksi dan superposisi gaya yang saling berlawanan arah.

Karena banyaknya miskonsepsi yang dialami siswa, peneliti akan menganalisis pemahaman konsep yang terjadi pada siswa di salah satu SMA di Malang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui miskonsepsi yang dialami siswa SMA di Malang pada materi Hukum Newton. Untuk mengetahui miskonsepsi tersebut, peneliti menggunakan FCI yang dikembangkan oleh Hestenes dkk.

## METODE

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *follow-up explanation design*. Pada desain penelitian ini, data kuantitatif dan kualitatif dikumpulkan secara berurutan. Data kuantitatif dan kualitatif diperoleh dari satu kelas siswa kelas XI di SMA Negeri 7 Malang. Kelas tersebut merupakan subjek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini, partisipan tidak diberikan perlakuan apa pun. Partisipan diberikan sebuah tes pemahaman konsep setelah mereka memperoleh materi Hukum Newton pada pembelajaran sebelumnya. Data kuantitatif diperoleh melalui tes pemahaman konsep dan data kualitatif diperoleh melalui tes pemahaman konsep dan wawancara. Tes pemahaman konsep ini diberikan untuk mengetahui nilai rata-rata pemahaman siswa dan miskonsepsi yang dialami siswa pada materi Hukum Newton. Tes pemahaman konsep yang digunakan adalah FCI dengan bentuk tes adalah pilihan ganda. FCI telah banyak digunakan oleh peneliti-peneliti lain dan telah teruji validitas dan reliabilitasnya (Brewer, dkk., 2016; Coletta & Phillips, 2005; Coletta, dkk., 2007; Han, dkk., 2016). Tidak semua soal dalam FCI digunakan dalam penelitian ini. Jumlah soal tes yang digunakan dalam penelitian ini adalah 19 soal dari total 29 soal FCI. 19 soal ini dipilih karena soal tersebut berkaitan dengan indikator yang telah dibuat peneliti pada materi Hukum Newton. Soal yang diambil adalah no 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 22, 25, 26, 27, 28, dan 29. Soal-soal yang dipilih kemudian diberikan penomoran baru secara berturut-turut mulai dari 1 hingga 19. Soal tersebut dibagi menjadi 5 sub materi Hukum Newton (Tabel 1).

**Tabel 1 Konsep Newton (Adaptasi (Hestenes et al., 1992))**

Konsep Newton	Nomor Soal
1. Hukum I Newton	3, 5, 8, 6, 13, 16, 17, 18
2. Hukum II Newton	5, 15
3. Hukum III Newton	2, 9, 10, 11
4. Superposisi Gaya	7
5. Jenis-Jenis Gaya	19, 14, 4, 7, 12, 13, 14, 1,

Data yang terkumpul melalui tes pemahaman konsep ini diubah menjadi dikotomis, yaitu nilai 1 jika siswa menjawab benar dan nilai 0 jika siswa menjawab salah. Total nilai siswa kemudian diubah menjadi nilai dengan interval 0 hingga 100. Total jawaban siswa kemudian dianalisis untuk memperoleh nilai rata-rata pemahaman konsep siswa (persamaan (1)) beserta standar deviasinya (persamaan (2)) (Murwani; 2001). Data jawaban siswa juga digunakan untuk menganalisis miskonsepsi yang dialami siswa. Miskonsepsi yang digali dari 19 soal dalam FCI berdasarkan pilihan jawaban yang dipilih siswa tercantum pada Tabel 2.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \tag{1}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N-1}} \tag{2}$$

**Tabel 2. Miskonsepsi Siswa berdasarkan jawaban siswa (Adaptasi (Hestenes et al., 1992))**

Miskonsepsi	Nomor Soal
1. Dorongan ( <i>Impetus</i> )	
I1. Dorongan disebabkan oleh pukulan	7. B,C ; 14. B,C,E ; 19. D
I2. Dorongan asli dapat hilang/ diciptakan	3. D ; 5. C,E ; 16. A,D,E
I3. Disipasi dorongan	4. A,B,C ; 6.C ; 17. C,E ; 19. B
I4. Dorongan terbentuk secara bertahap	5. D ; 6. B,D ; 19. E
I5. Dorongan sirkular	3. A,D ; 8.A
2. Gaya Aktif	
AF1. Hanya agen aktif yang menghasilkan gaya	9. B ; 10. D ; 11. D ; 13. D ; 24. A
AF2. Gerakan mengindikasikan adanya gaya aktif	19. A

---

AF3. Tidak ada gerakan mengindikasikan tidak adanya gaya	
AF4. Kecepatan sebanding dengan gaya yang bekerja	15. A ; 18. A
AF5. Percepatan mengindikasikan adanya peningkatan gaya	12. B
AF6. Gaya menyebabkan terjadinya percepatan untuk mencapai kecepatan terminal	12. A ; 15. D
AF7. Gaya aktif dapat menghilang	15. C,E
3. Pasangan Aksi-Reaksi	
AR1. Massa yang lebih besar memiliki gaya yang lebih besar	2. A,D ; 9. D ; 10. B ; 11. B
AR2. Hampir semua agen aktif menghasilkan gaya yang lebih besar	10. C ; 9. D ; 11. C
4. Keonstanan Pengaruh	
CI1. Gaya yang paling besar menentukan gerak benda	13. A, E
CI2. Gabungan gaya menentukan gerak benda	3. C ; 8. D
CI3. Gaya yang bekerja terakhir menentukan gerak benda	5. A ; 16. C
5. Pengaruh lain pada gerak	
CF. Gaya sentrifugal	3. C,D,E ; 8. C,D,E
Ob. Halangan tidak menghasilkan gaya	2. C ; 7. A,B ; 10. E ; 11. E
R1. Massa membuat benda berhenti	19. A,B
R2. Gerakan terjadi saat gaya dapat mengalahkan halangan	18. B, D
R3. Hambatan menghalangi gaya	18. E
G1. Tekanan udara mempengaruhi gravitasi	7. A ; 12. E ; 13. E
G2. Gravitasi adalah hal intrinsik dari massa	4. E ; 7. E ; 12. D
G3. Benda yang lebih berat jatuh lebih cepat	1. A
G4. Gravitasi meningkat selama benda jatuh	4. B ; 12. B
G5. Gravitasi bekerja setelah dorongan berkurang	4. B

---

Berdasarkan hasil analisis data kuantitatif, selanjutnya dilakukan pengumpulan data secara kualitatif. Data kualitatif yang dikumpulkan merupakan hasil tindak lanjut dari hasil kuantitatif. Data kualitatif dikumpulkan dengan melakukan wawancara terhadap 8 siswa dari yang dipilih secara acak dari kelas yang sebelumnya telah diberi tes pemahaman konsep. Instrumen yang digunakan dalam wawancara adalah lembar. Data kualitatif kemudian dikodekan dan direduksi. Setelah itu dilakukan penarasian sehingga terjadi integrasi dengan data kuantitatif yang telah dikumpulkan sebelumnya.

## HASIL

Berdasarkan analisis data kuantitatif yang diperoleh melalui tes pemahaman konsep dengan menggunakan FCI, rata-rata nilai total siswa sebesar 14,9 dengan sebaran data (simpangan baku) sebesar 8,6. Selain nilai rata-rata yang rendah, banyak miskonsepsi yang dialami oleh siswa tentang Hukum Newton. Miskonsepsi yang ditemukan berdasarkan jawaban siswa tercantum pada Tabel 3.

**Tabel 3 Miskonsepsi Siswa berdasarkan Jawaban**

No	A	B	C	D	E
1	G3	10	0 Benar	0 G3	18 0
2	AR 1	25	1 0b	0 AR 1	0 Benar 3
3	I5	14 Benar	8 I5, CI 2, CF 1	3 CF 1, I2, I5	1 CF 1 3
4	I3	0 I3, G4, G5	22 I3	4 Benar	0 G2 3
5	CI 3	21 Benar	4 I2	0 I2, I4	1 I2 3
6	Benar	0 I4	6 I3	2 I4	20 I3 1
7	0b, G 1, I1	2 0b, I1	9 I1	15 Benar	2 G2 0
8	I5	7 Benar	17 I3, CF1	3 I5, CI2, CF1	2 CF 1 0
9		0 AF1	10	6 AR1, AR2	12 Benar 1
10	Benar	0 AR1	11 AR2	17 AF1	1 0b 0
11	Benar	9 AR1	7 AR2	10 AF1	2 0b 0
12	AF6	3 AF5, G4	18 Benar	4 G2	1 G1 3
13	CI1	15 Benar	3	3 AF1	2 CI1, G1 6
14	AF1	0 I1	4 I1	22 Benar	1 I1 2
15	AF4	2 Benar	5 AF7	4 AF6	11 AF7 7
16	I2	1 Benar	7 CI3	7 I2, I4	9 I2 3
17	Benar	3 I4	0 I3	21 I4	3 I3 2
18	AF4	8 R2	2 Benar	4 R2	14 R3 1
19	AF2, R1	12 I3, R1	5 Benar	11 I1	0 I4 1

Berdasarkan data miskonsepsi pada Tabel 3 siswa banyak memiliki konsepsi alternatif pada konsep gaya. Siswa beranggapan bahwa gaya merupakan dorongan (*impetus*). Siswa beranggapan bahwa benda yang awalnya bergerak melingkar, maka benda tersebut akan tetap bergerak melingkar jika tali penghubung benda tersebut terputus karena adanya gaya secara sirkular. Pada saat benda jatuh, siswa juga beranggapan bahwa benda dapat mengalami disipasi/penurunan gaya saat jatuh. Pada saat benda dipukul, siswa juga beranggapan bahwa gaya disebabkan oleh pukulan tersebut dan akan terbentuk secara bertahap. Siswa juga beranggapan bahwa gaya dapat mengalami penurunan.

Miskonsepsi terbanyak kedua terletak pada sub materi jenis-jenis gaya, khususnya gaya gravitasi, dan pasangan aksi reaksi. Pada gaya gravitasi, siswa beranggapan bahwa benda bermassa lebih besar akan jatuh lebih cepat. Selain itu, siswa tersebut juga beranggapan bahwa gravitasi meningkat selama benda jatuh. Pada gerak vertikal ke atas, siswa juga beranggapan bahwa gravitasi baru bekerja saat gaya ke atas menghilang. Pada pasangan aksi-reaksi, siswa beranggapan bahwa benda yang memiliki massa lebih besar memiliki gaya yang lebih besar pula. Selain itu, siswa juga beranggapan bahwa benda yang lebih aktif (berkecepatan lebih besar) akan menghasilkan gaya yang lebih besar.

Miskonsepsi lain yang ditemukan berada pada sub materi Hukum Newton. Siswa beranggapan bahwa adanya percepatan mengindikasikan adanya peningkatan gaya. Selain itu siswa juga menganggap gaya menyebabkan terjadinya percepatan untuk mencapai kecepatan terminal tertentu.

Miskonsepsi juga ditemukan pada sub materi superposisi gaya. Siswa beranggapan bahwa gerak benda ditentukan oleh gaya terakhir yang bekerja pada benda. Selain itu, siswa beranggapan bahwa gaya yang paling besar menentukan gerak benda.

Nilai tes pemahaman konsep tersebut dipengaruhi oleh cara mengajar guru pada saat materi Hukum Newton. Berdasarkan hasil wawancara terhadap 8 siswa, siswa diajarkan dengan menggunakan *mind map*, ceramah, dan latihan soal. Model pembelajaran menggunakan *mind map* dilakukan oleh mahasiswa PPL. Pada model pembelajaran *Mind map*, siswa diminta untuk melengkapi konsep-konsep yang masih dikosongi. Konsep-konsep yang diberikan juga tidak begitu mendalam karena siswa hanya diminta untuk menyebutkan judul konsep dan rumus yang digunakan pada konsep tersebut. Setelah itu, guru mengulangi materi tersebut dengan metode ceramah. Latihan soal yang diberikan kepada siswa mayoritas berupa soal menghitung, baik pada Hukum I Newton ataupun Hukum II Newton. Dengan cara mengajar yang demikian, siswa belum memperoleh pembelajaran secara bermakna. Materi Hukum Newton yang disampaikan tidak bertahan lama dalam ingatan siswa. Siswa mengaku lupa dengan materi tersebut pada saat mengerjakan tes pemahaman konsep.

Selain itu, siswa tidak bertanya kepada guru jika mengalami kesulitan atau pada saat siswa kurang memahami materi yang diberikan. Siswa lebih suka bertanya kepada teman sebaya. Jika teman-teman yang lain juga tidak memahami materi tersebut, siswa juga cenderung membiarkan saja. Hal inilah yang menyebabkan siswa memiliki nilai yang rendah pada pemahaman konsep dan siswa juga memiliki konsepsi alternatif yang cukup banyak pada materi Hukum Newton.

## PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis data, siswa mendapatkan nilai rata-rata yang rendah pada tes pemahaman konsep. Hal ini berkaitan dengan banyaknya miskonsepsi yang dimiliki siswa. Semakin banyak miskonsepsi yang dimiliki siswa, maka nilai rata-rata siswa akan semakin rendah.

Miskonsepsi terbanyak yang dialami siswa adalah adanya konsepsi bahwa gaya sama dengan dorongan (*impetus*). Menurut Hestenes (1992), *impetus* digunakan pada zaman pre-Galilean sebelum diperlemah secara saintifik. *Impetus* digunakan untuk menggambarkan gaya instrinsik yang membuat benda tetap bergerak. Jika siswa memiliki konsepsi tentang *impetus*, maka hal ini menjadi bukti bahwa Hukum 1 Newton tidak dipahami. Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat konsep "*Container Metaphor*", yaitu setiap objek seperti container yang dapan menyimpan *impetus*, seperti mobil menyimpan gas dan konsep "*Training Metaphor*", yaitu objek akan cenderung bergerak sesuai dengan gerakan sebelumnya (Hestenes, dkk., 1992).

Miskonsepsi pada jenis-jenis gaya, khususnya pada gaya gravitasi, disebabkan karena siswa menganggap bahwa gravitasi sama dengan gaya gravitasi. Jika gravitasi disamakan dengan gaya gravitasi, maka miskonsepsi yang timbul adalah bahwa benda yang memiliki massa lebih besar akan jatuh lebih cepat (Hestenes, dkk., 1992). Gravitasi dan gaya gravitasi seharusnya tidak disamakan. Gravitasi adalah gaya yang timbul antara dua objek besar yang memiliki jarak yang jauh satu sama lain, contohnya adalah gravitasi antar planet-planet dalam tata surya. Sedangkan gaya gravitasi terjadi pada dua objek dengan jarak yang dekat, misalnya gaya gravitasi pada benda yang diletakkan di atas meja (Knight, 2017).

Miskonsepsi pada pasangan aksi-reaksi juga sering muncul. Siswa beranggapan bahwa dalam pasangan aksi reaksi, terjadi “prinsip dominasi”, yaitu benda yang lebih kuat (bermassa lebih besar, bergerak lebih aktif) akan memberikan gaya yang lebih besar daripada pasangan reaksinya (Hestenes, dkk., 1992). Selain itu, siswa juga mengalami kebingungan dalam membedakan antara pasangan aksi reaksi dan superposisi gaya yang saling berlawanan arah.

Miskonsepsi pada Hukum II Newton biasanya ditandai dengan munculnya gaya aktif (Hestenes, dkk., 1992). Gaya aktif melambangkan agen aktif, biasanya disebabkan oleh makhluk hidup dan hanya bekerja jika terjadi kontak langsung. Agen aktif merupakan agen penyebab (memiliki kekuatan untuk menyebabkan benda bergerak) untuk menciptakan impetus (dorongan) yang ditransfer ke objek lain. Agen aktif memiliki kapasitas terbatas untuk memproduksi gerak dan memiliki kecenderungan untuk menghilang. Dalam Hukum II Newton, jika kecepatan dan percepatan tidak dibedakan untuk mendeskripsikan gerak. Maka, konsep gaya sebanding dengan percepatan akan disamakan dengan gaya sebanding dengan kecepatan. Hal ini sesuai dengan temuan yang terjadi di lapangan.

## SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan, siswa mendapatkan nilai rata-rata yang rendah, yaitu sebesar 14,9. Setelah dianalisis lebih mendalam, siswa mengalami banyak miskonsepsi terutama pada Hukum 1 Newton, Hukum III Newton, jenis-jenis gaya. Miskonsepsi tersebut dapat disebabkan karena pembelajaran yang kurang bermakna dan latihan soal yang cenderung pada pendekatan matematis.

Agar miskonsepsi dapat lebih diminimalisir, sebaiknya guru menggunakan metode pembelajaran yang lebih bermakna, dengan siswa sebagai pusat dalam pembelajaran. Latihan-latihan soal yang diberikan sebaiknya tidak menekankan pada persamaan matematis saja, namun juga menekankan pada pemahaman konsep siswa. Pada saat sebelum mengajarkan Hukum Newton, guru juga bisa memulai dengan memperkenalkan jenis-jenis gaya, lalu dilanjutkan dengan Hukum I dan III Newton, dan Hukum II Newton. Konsep juga sebaiknya diperkenalkan lebih mendalam, tidak sekedar memperkenalkan rumus saja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing*. Boston: Addison Wesley Longman, Inc.
- Brewe, E. dkk. (2016). Using module analysis for multiple choice responses: A new method applied to Force Concept Inventory data. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020131:1-19. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020131>
- Bruun, J. & Brewe, E. (2013). Talking and learning physics : Predicting future grades from network measures and Force Concept Inventory pretest scores, *20109*, 1–13. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.020109>.
- Coletta, V. P. & Phillips, J. A. (2005). Interpreting FCI scores : Normalized gain , preinstruction scores , and scientific reasoning ability, (April 2004), 1172–1182. <http://doi.org/10.1119/1.2117109>.
- Coletta, V. P., dkk. (2007). Interpreting force concept inventory scores : Normalized gain and

- SAT scores, 1–5. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.010106>.
- Knight, R. D. (2017). *Physics for Scientists and Engineers* (4th ed.). Boston: Pearson Education, Inc.
- Han, J., dkk. (2015). Dividing the Force Concept Inventory into two equivalent half-length tests, *10112*, 1–9. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010112>.
- Han, J. dkk. (2016). Experimental validation of the half-length Force Concept Inventory. *Physical Review Physics Education Research*, *12*(2), 20122. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020122>.
- Hestenes, dkk. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, *30*(3), 141. <http://doi.org/10.1119/1.2343497>.
- Hill, M. dkk. (2015). How online learning modules can improve the representational fluency and conceptual understanding of university physics students. *European Journal of Physics*, *36*(4), 45019. <http://doi.org/10.1088/0143-0807/36/4/045019>.
- Lin, S. & Singh, C. (2015). Effect of scaffolding on helping introductory physics students solve quantitative problems involving strong alternative conceptions, *20105*, 1–19. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020105>.
- Marée, T. J, dkk. (2013). Research in Science & Technological Education Effective self-regulated science learning through multimedia-enriched skeleton concept maps, (January 2015), 37–41. <http://doi.org/10.1080/02635143.2013.782283>.
- Sutopo, & Waldrip, B. (2014). IMPACT OF A REPRESENTATIONAL APPROACH ON STUDENTS' REASONING AND CONCEPTUAL UNDERSTANDING IN LEARNING MECHANICS. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *12*: 741–765.
- Taibu, R, dkk. (2015). Textbook presentations of weight : Conceptual difficulties and language ambiguities, *10117*, 1–20. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010117>.
- Wang, C. (2014). International Journal of Science Scaffolding Middle School Students ' Construction of Scientific Explanations : Comparing a cognitive versus a metacognitive evaluation approach, (January 2015), 37–41. <http://doi.org/10.1080/09500693.2014.979378>.