Pemahaman Konsep Mahasiswa Tentang Percepatan Pada Gerak Lengkung (Kinematika)

Siprianus Lusi Angin[1*]
[1]Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang no. 5 Malang

[*]*E-mail*: siprianusangin@yahoo.co.id

Abstrak: Kesulitan pemahaman konsep terkait percepatan dalam gerak lengkung hingga kini masih dialami mahasiswa. Artikel ini membahas kesulitan umum dalam memecahkan masalah konseptual terkait konsep percepatan dalam gerak lengkung. Subyek penelitian terdiri atas 35 mahasiswa tahun pertama program studi pendidikan fisika tahun akademik 2016/2017. Metode penelitian adalah *deskripsi kualitatif*. Analisis dilakukan berdasarkan jawaban mahasiswa terhadap soal pilihan ganda beserta alasannya. Penelitian menyimpulkan bahwa konsep percepatan berbagai representasi masih terindikasi sulit. Saran penelitian lanjutan adalah mengeksplorasi lebih autentik penyebab kesulitan tersebut, misalnya memberikan lebih banyak soal-soal latihan dan wawancara mendalam.

Kata kunci: pemahaman konsep, konsep percepatan

Mahasiswa memahami konsep, mengaitkan antar konsep dan mengaplikasikan konsep fisika secara umum adalah salah satu tujuan pembelajaran fisika di perguruan tinggi. Agar pembelajaran fisika tercapai dengan tuntas, dibutuhkan pemahaman konsep yang baik (Nitjarunkul, 2015). Konsep-konsep fisika yang dimaksudkan adalah konsep-konsep yang bersifat esensial. Oleh karena itu, konsep yang bersifat esensial dapat dijadikan dasar untuk pengembangan konsep lainnya dalam kasus-kasus tertentu (Seroglou & Koumaras, 2001; Singh & Schun, 2009; Fraser, dkk., 2014).

Salah satu konsep fisika yang bersifat esensial adalah percepatan. Selain itu, konsep percepatan merupakan salah satu kunci dasar dalam memahami topik mekanika. Namun demikian, pemahaman konsep terkait percepatan masih rendah, terutama kaitan terhadap topik kinematika (Beichner, 1994; Sutopo, dkk., 2012; Planinic, dkk., 2013; Erceg & Aviani, 2014; Mesic, 2015; Bollen, dkk., 2016). Secara umum dapat dikatakan bahwa mahasiswa perlu konsisten terhadap definisi operasional konsep terkait topik kinematika. Oleh karena itu, topik kinematika merupakan materi yang sederhana tanpa mengaitkan hukum tertentu.

Topik kinematika merupakan topik yang mempelajari tentang gerak tanpa memperhatikan penyebabnya. Menurut Knight (2013); Sutopo (2012), mahasiswa cukup taat dan konsisten terhadap definisi operasional dan memahami prinsip ketika menyelesaiakan persoalan yang berkaitan dengan konsep percepatan yang ditampilkan dalam ragam representasi. Akan tetapi, mahasiswa masih tetap saja belum konsisten dalam memahami konsep percepatan.

Studi literatur menunjukkan bahwa kesulitan mahasiswa memahami konsep percepatan selain tidak konsisten adalah karena gagal mengaktivasi pengetahuan. Hal ini akan merujuk pada Hammer (2000) yang mengatakan pengetahuan mahasiswa tersebut masih terpotong-potong (*knowledge in pieces*). Teori ini berpandangan bahwa mahasiswa memiliki pengetahuan namun tidak secara utuh. Dengan demikian, untuk mengatasi permasalahan pengetahuan terpotong-potong dibutuhkan solusi pembelajaran fisika yang tepat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pemahaman mahasiswa tentang percepatan pada gerak lengkung. Soal-soal yang diberikan dalam penelitian ini merupakan soal dengan berbagai konteks dan format representasi. Hal ini penting mengingat perlunya pemahaman konsep yang utuh dengan berbagai format representasi. Oleh karena itu, mengenali kemampuan mahasiswa sangat penting untuk merancang pembelajaran yang efektif. Dalam menganalisis pemahaman mahasiswa, pembahasan ditinjau berdasarkan kerangaka acuan *knowledge in pieces*. Hal ini penting untuk melihat apakah mahasiswa konsisten dalam menggunakan pemahaman yang telah ia miliki.

Meskipun beberapa peneliti telah banyak yang mengungkap kesulitan mahasiswa memahami konsep percepatan secara umum, akan tetapi sejauh ini belum banyak yang mengungkap penyebab kesulitan tersebut pada gerak lengkung. Artikel ini difokuskan untuk mengidentifikasi kesulitan mahasiswa dalam memahami konsep percepatan pada gerak lengkung ditinjau dari teori *knowledge in pieces.*

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif yang menggambarkan pemahaman mahasiswa tentang konsep percepatan pada gerak lengkung ditinjau dari *knowledge in pieces*. Subjek penelitian sebanyak 35 mahasiswa semester genap tahun akademik 2016/2017

Pengumpulan data menggunakan instrumen tes berbentuk pilihan ganda yang berjumlah 20 soal. Analisis data kualitatif dilakukan untuk mengidentifikasi pemikiran mahasiswa dalam memilih opsi jawaban pada *test*. Hal tersebut, diperoleh melalui alasan mahasiswa memilih opsi jawaban pada lembar kerja. Alasan memilih opsi jawaban disesuaikan dengan kesamaan pemikiran mahasiswa. Apabila mahasiswa yang memberikan alasan yang sama maka, dikategorikan pada satu kategori alasan. Namun, apabila alasan jawaban yang berbeda maka, dikategorikan pada kategori alasan baru dan seterusnya hingga mencapai alasan jenuh (tidak ada kategori alasan yang dikategorikan) dan mahasiswa yang tidak memberikan alasan dianggap tidak teridentifikasi. Kemudian, mahasiswa yang memilih jawaban baik dengan alasan maupun tidak memberikan alasan pada *test*, diberikan koding. Berikut tampilan dalam mengidentifikasi perubahan alasan jawaban memilih opsi *test* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan alasan mahasiswa dalam menjawab soal *test*

Jawaban	Alasan	No. Subyek *Test*
A		M1…dst
B		
C		
D		
E		
F		

(Ket: A, B, C, D, E, F : Opsi jawaban; Alasan : alasan yang diberikan mahasiswa; M1…: Mahasiswa ke…)

Berdasarkan Tabel 1., diperoleh alasan setiap mahasiswa dalam memilih opsi soal pada *test*. Analisis terhadap alasan yang dibuat mahasiswa dimaksudkan untuk mengetahui kesulitan

yang masih dialami mahasiswa ketika menyelesaikan soal pemahaman konsep kinematika. Selanjutnya, diintepretasikan dan dirangkum kesulitan tersebut.

Akan tetapi dalam artikel hanya dibahas soal yang terkait konsep percepatan pada gerak lengkung. Bagian ini berisi uraian ringkas jenis penelitian, sampel atau subjek penelitian, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis data.

HASIL

1. Hasil Umum

Data penguasaan konsep mahasiswa diperoleh dari skor hasil *test*.. Adapun statistik deskriptif mengenai nilai minimum, nilai maksimum, *mean*, dan standar deviasi untuk skor *pretest* dan *postest* 35 mahasiswa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik deskriptif skor *pretest-postest* kinematika

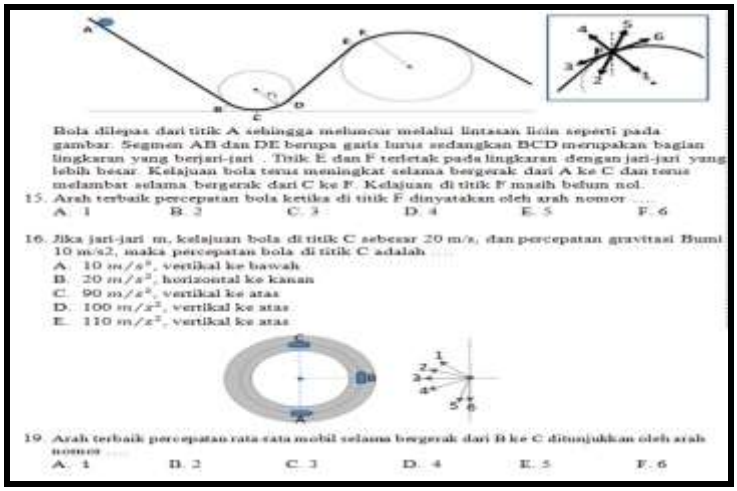
Statistik		***Test***
N	Valid	35
	Missing	0
Minimum		5
Maximum		65
Mean		26,71
Std. Deviation		11,437
Skewness		**0,880**

Tabel 2. menunjukkan bahwa pemahaman konsep kinematika mahasiswa masih rendah. Hal ini dapat dilihat rerata skor *test*. Sebelum melakukan analisis lebih lanjut mengenai pemahaman konsep mahasiswa, terlebih dahulu dilakukan uji prasayat kenormalan data *test*. Tabel 1. menunjukkan bahwa nilai *Skwness* untuk data *test* adalah 0,880. Nilai tersebut dalam interval antara -1 dan 1 yang menunjukkan bahwa data berdistibusi normal (Morgan, dkk., 2004).

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa pemahaman konsep tentang kinematika masih rendah. Jika ditinjau dari jumlah pemilih opsi, alasan jawaban yang diberikan mahasiswa, belum sepenuhnya memahami konsep kinematika yang ditampilkan beberapa format representasi dengan baik.

2. Pemahaman mahasiswa tentang percepatan pada gerak lengkung

Terdapat 3 soal yang untuk menguji dan mengukur kemampuan mahasiswa dalam memahami konsep percepatan pada gerak lenkung dan akan dibahas 3 soal yang paling sulit bagi mahasiswa yakni nomor 15, 16 dan soal 20 yang menunjukkan adanya pengetahuan yang belum utuh dan ditampilkan dalam beberapa format representasi terhadap pemahaman konsep mahasiswa. Gambar 1. berikut menunjukan soal nomor 15, 16 dan soal 20.



Gambar 1. menunjukan soal nomor 15, 16 dan soal 20 pada gerak lengkung

a. Menentukan arah percepatan di suatu titik pada lintasan melengkung (Soal 15)

Respon mahasiswa terhadap soal 15: Deskripsi verbal dan gambar gerak pada bidang vertikal dengan lintasan berupa kombinasi garis lurus dan lingkaran. Tugas mahasiswa adalah menentukan arah percepatan di suatu titik pada lintasan melengkung.

Tabel 3. Distribusi pilihan opsi jawaban *test* kinematika nomor 15

Opsi	Jumlah mahasiswa yang memilih opsi
A	9
B*	7
C	5
D	4
E	1
F	9
Total	35

*) Jawaban benar

Adapun distribusi pilihan jawaban mahasiswa saat menjawab soal *test* pada soal nomor 15 seperti yang ditunjukan pada Tabel 3. Pada *test* 9 (25,7%) mahasiswa memilih opsi A, 7 (20,0%) mahasiswa memilih opsi B, 5 (14,3%) memilih opsi C, 4 (11,4%) memilih opsi D, 1 (2,9%) mahasiswa memilih opsi E, dan 9 (25,7%) mahasiswa memilih opsi F.

Mahasiswa memilih opsi tidak cukup hanya memilih, namun mahasiswa menjawab disertai alasan. Berikut alasan mahasiswa memilih opsi seperti yang ditunjukan pada Tabel 4.

Dari Tabel 4. terlihat bahwa dalam menjawab soal nomor 15, terdapat 1 mahasiswa (M33) yang memberikan alasan dengan memahami konsep percepatan tangensial sehingga jawabannya benar. Pada *test*, pengetahuan mahasiswa tersebut sudah baik.. Selain itu, pada *test* mahasiswa yang memilih opsi B namun tidak memberikan alasan Hal ini menunjukkan, pengetahuan mahasiswa tersebut masih terpotong-potong. Namun, masih ada beberapa mahasiswa yang kesulitan ketika menentukan arah percepatan.

Tabel 4. Alasan mahasiswa dalam menjawab soal *test* kinematika nomor 15

Jawaban	Alasan	Kode *Test*
A	Tidak teridentifikasi	M8, M9, M10, M12, M17, M20, M22, M28, M35
B*	Percepatan translasi berlawanan dengan kecepatan dan percepatan sentripetal tegak lurus terhadap kecepatan sehingga arah *a* ditentukan dari resultan percepatan translasi dan sentripetal	M33
	Tidak teridentifikasi	M2, M5, M6, M23, M24,

		M27
C	Pada saat bola meluncur ke atas, maka percepatan bola akan melambat dan cenderung akan turun kembali.	M29
	Karena pada titi C – F, bola bergerak melambat, otomatis, bola akan kembali dan tidak ke arah kiri, dan tidak bergerak ke arah kanan	M25
	Tidak teridentifikasi	M7, M19, M34
E	Kecepatan semakin berkurang, maka percepatan translasi searah dengan kecepatan dan percepatan sentripetal tegak lurus terhadap kecepatan sehingga arah ***a*** ditentukan dari resultan percepatan translasi dan sentripetal	M4
D	Tidak teridentifikasi	M3, M11, M15, M30
F	Kelajuan bola terus meningkat selama bergerak dari A ke C dan terus melambat selama bergerak dari C ke F.	M26
	Tidak teridentifikasi	M1, M13, M14, M16, M18, M21, M31, M32

b. Menentukan besar dan arah percepatan di titik terbawah (Soal 16)

Respon mahasiswa terhadap soal 16: Deskripsi verbal dan gambar gerak pada bidang vertikal dengan lintasan berupa kombinasi garis lurus dan lingkaran. Tugas mahasiswa adalah menentukan besar dan arah percepatan di titik terbawah pada lintasan melengkung seperti pada Gambar 1.

Adapun distribusi pilihan jawaban mahasiswa saat menjawab soal *test* pada soal nomor 15 seperti yang ditunjukan pada Tabel 5. Pada *test* 5 (14,3%) mahasiswa memilih opsi A, 7 (20,0%) mahasiswa memilih opsi B, 2 (5,7%) memilih opsi C, 21 (60,0%) memilih opsi D, dan 0 (0,0%) mahasiswa memilih opsi E.

Tabel 5. Distribusi pilihan opsi jawaban *test* kinematika nomor 16

Opsi	Jumlah mahasiswa yang memilih opsi
A	5
B	7
C	2
D*	21
E	0
Total	35

*Jawaban benar

Mahasiswa memilih opsi tidak cukup hanya memilih, namun mahasiswa menjawab disertai alasan. Berikut alasan mahasiswa memilih opsi seperti yang ditunjukan pada Tabel 6.

Tabel 6. Alasan mahasiswa dalam menjawab soal *test* kinematika nomor 16

Jawaban	Alasan	No. Subjek *Test*
A	Menggunakan $\bar{a} = v^2/Rg$	M6, M7, M15, M17, M27
B	Tanpa alasan	M3, M4, M9, M10, M11, M25, M28
C	Menggunakan $v = s/t$ untuk waktu dan percepatan menggunakan $a = \frac{\Delta v}{t} + g$	M18
	Tanpa alasan	M19
D	Menggunakan $a_s = \frac{v^2}{r}$	M1, M2, M5, M8, M12, M13, M14, M16, M21, M22, M23, M24, M26, M30, M31, M33, M34, M35
	Tanpa alasan	M20, M32, M29,

c. Menentukan arah percepatan rata-rata selama bergerak dari satu posisi ke posisi berikutnya (Soal 19)

Respon mahasiswa terhadap soal 19: deskripsi verbal dan gambar gerak melingkar dipercepat pada bidang horisontal dengan arah percepatan di suatu titik. Tugas mahasiswa adalah menentukan arah percepatan rata-rata selama bergerak dari satu posisi ke posisi berikutnya pada lintasan melengkung seperti pada Gambar 1.

Adapun distribusi pilihan jawaban mahasiswa saat menjawab soal *test* pada soal nomor 15 seperti yang ditunjukan pada Tabel 7. Pada *test* 0 (0,0%) mahasiswa memilih opsi A, 3 (8,6%) mahasiswa memilih opsi B, 6 (17,1%) memilih opsi C, 7 (20,0%) memilih opsi D, 8 (22,9%) mahasiswa memilih opsi E, dan 11 (31,4%) memilih opsi F.

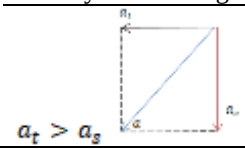
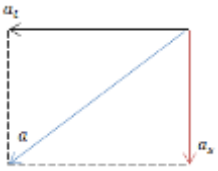
Tabel 7. Distribusi pilihan opsi jawaban *test* kinematika nomor 20

Opsi	Jumlah mahasiswa yang memilih opsi
A	0
B	3
C	6
D	7
E*	8
F	11
Total	35

*Jawaban benar

Mahasiswa memilih opsi tidak cukup hanya memilih, namun mahasiswa menjawab disertai alasan. Berikut alasan mahasiswa memilih opsi seperti yang ditunjukan pada Tabel 8.

Tabel 8. Alasan mahasiswa dalam menjawab soal *test* kinematika nomor 20

Jawaban	Alasan	No. Subjek
		Pretes
A	Tanpa alasan	-
B	Tanpa alasan	M1, M4, M6
C	Tanpa alasan	M8, M15, M19, M28, M30, M35
D	Arahnya sama dengan percepatan B	M5, M7, M18, M20,
	 $a_t > a_s$	M10, M24, M33
E*	Tanpa alasan	M9, M12, M13, M21, M23, M21
		M26, M31
F	Tanpa alasan	M2, M3, M11, M14, M16, M17, M22, M25, M29, M32, M34

PEMBAHASAN

Pada bagian ini saya akan membahas pemahaman mahasiswa yang paling umum, ditinjau dari *knowledge in pieces*. *Knowledge in pieces* yang dipaparkan pada hasil penelitian, beberapa di antaranya terlihat pada setiap pertanyaan Tes Pemahaman Konsep Kinematika, khususnya percepatan pada gerak lengkung. Sadar akan kemampuan mahasiswa memahami

berbagai representasi dibidang verbal, matematis, dan diagram gerak serta vektor dapat membantu pengajar mendesain kondisi belajar yang lebih efektif. Oleh karena itu, disarankan beberapa implikasi mengenai instruksi tentang penggunaan alat pembelajaran dibidang representasi verbal, grafik, matematis, dan diagram gerak serta vektor dalam mata kuliah fisika dasar. Selain itu, pembahasan ini bisa menjadi titik tolak untuk studi penelitian yang lebih mendalam yang bertujuan untuk menentukan apa yang menyebabkan kesulitan mahasiswa yang teridentifikasi.

Berdasarkan hasil penelitian, terlihat bahwa pemahaman konsep tentang percepatan pada gerak lengkung masih rendah. Seperti pada soal 16, mahasiswa sulit menentukan arah vektor percepatan, ketika diberikan persoalan representasi gambar. Padahal, representasi vektor dipelajari sebelum kinematika dengan tujuan agar mahasiswa mampu menerapkan representasi vektor untuk pembelajaran topik selanjutnya (Heckler & Scaife, 2015). Sehingga, penting untuk menanamkan konsep representasi vektor secara utuh (Bollen, dkk., 2017).

Kemampuan mahasiswa tentang representasi matematis sudah baik. Artinya bahwa mahasiswa secara utuh menguasai formula matematis percepatan pada gerak lengkung yakni,

$$a = \frac{v^2}{r} \qquad (1)$$

Namun, beberapa mahasiswa belum seutuhnya memahami penerapan formula matematis tersebut. Mereka cenderung berpikir konteks matematis, daripada konteks matematis diterjemahkan ke dalam konteks fisis (Chikiwa & Schafer, 2016; Phage, dkk., 2017; Angin, dkk., 2017) Hal ini disebabkan, mahasiswa masih memiliki pengetahuan yang terpotong-potong (*knowledge in pieces*) (Hammer, 2000; Ramnarain & Niekerk, 2013).

Pemahaman mahasiswa tentang percepatan pada gerak lengkung masih dikategorikan terpotong-potong. Mahasiswa cenderung berpikir dan menghafal rumus daripada memahaminya dalam konteks fisis. Para fisikawan menganjurkan agar memahami konsep fisika dengan mentaati aturan dan konsisten terhadap defenisi operasional konsep. Seperti pada soal 15, terlihat jelas bahwa deskripsi verbal mengenai konsep percepatan cukup memprihatinkan. Dimana, mereka berpikir bahwa percepatan pada gerak lengkung searah dengan kecepatan. Alasan tersebut benar, apabila mahasiswa memahami prinsip dipercepat atau diperlambat. Percepatan searah dengan kecepatan apabila dipercepat dan sebaliknya jika diperlambat maka percepatan berlawanan dengan kecepatan (Reif & Allen, 1992).

Lebih lanjut, seperti pada soal nomor 20 terlihat mereka kesulitan menentukan resultan arah percepatan. Apabila mereka memahami konsep percepatan secara utuh, maka konsep dasar yang harus dipegang yakni,

$$\vec{a} \equiv \vec{a}_{\perp\vec{v}} + \vec{a}_{\parallel\vec{v}} \qquad (2)$$

Kesulitan umum adalah mahasiswa belum sepenuhnya menguasai konsep percepatan yang berkaitan dengan arah $\vec{a}_{\perp v}$ dan $\vec{a}_{\parallel v}$ (Hestenes & Wells, 1992; Sutopo, dkk., 2013; Serway & Jewett, 2014). Kekurangannya bahwa, latihan soal belum cukup memadai karena waktu pembelajaran yang disediakan cukup dan terbatas. Selain itu, beban memori mahasiswa cukup untuk membuat klaim bahwa telah mengalami kesulitan dalam memahami konsep percepatan.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa pemahaman konsep percepatan pada gerak lengkung masih dikategorikan terpotong-potong (*knowledge in pieces*). Beberapa mahasiswa sulit menentukan arah percepatan pada gerak lengkung dalam berbagai format representasi. Mereka memahami konsep percepatan secara umum bahwa percepatan selalu searah dengan kecepatan. Pemahaman tersebut benar jika pengetahuan harus utuh dan konsisten akan definisi operasional.

Penelitian selanjutnya bahwa dibutuhkan pembelajaran yang tepat untuk menguatkan konsep percepatan dengan berbagai format representasi seperti menerapkan tahapan strategi pembelajaran multi representasi (Angin, dkk., 2016) secara utuh dan melakukan wawancara mendalam serta latihan soal yang memungkin mahasiswa untuk memahami konsep percepatan secara utuh.

DAFTAR RUJUKAN

Angin, S. L., Sutopo., & Parno. (2017). Pemahaman Mahasiswa Tahun Pertama tentang Percepatan dalam Dua Dimensi. *Jurnal Pendidikan : Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 2 : 1-6.

Angin, S. L., Sutopo., & Parno. (2016). Strategi Pembelajaran Multi Representasi untuk Meningkatkan Kinematika Mahasiswa Semester Awal. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Pendidikan IPA Pascasarjana UM, 26 Oktober 2016.

Beichner, R. J. (1994). Testing Student Interpretation of Kinematics Graphs. *Am. J. Phys*, 62 (8) : 750-762.

Bollen, L., De Cock, M., Zuza, K., Guisasola, J., & van Kampen, P. (2016). Generalizing a categorization of students' interpretations of linear kinematics graphs. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010108.

Bollen, L., Kampen, P., Baily, C., Kelly, M & De Cock, M. (2017). Student difficulties regarding symbolic and graphical representations of vector fields. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res,* 13 (2) : 1-17.

Chikiwa, C & Schafer, M. (2016). Teacher Code Switching Consistency and Precision in a Multilingual Mathematics Classroom. *African Journal of Research in MST Education.* 20 (3) : 244-255.

Erceg, N. & Aviani, I. (2014). Students' Understanding of Velocity-Time Graphs and the Sources of Conceptual Difficulties. *Croat. J. Educ*. 16 (1) : 43-80.

Fraser, J.M., Timan, A.L., Miller, K., Dowd, J.E., Tucker, L., & Mazur, E. (2014). Teaching and physics education research: bridging the gap. *Reports on Progress in Physics*, 77 : 1-17.

Hammer, D. (2000). Student resources for learning introductory physics. *American Journal of Physics*, 68(1): 52-59.

Heckler, A.F & Scaife, T.M. (2015). Adding and subtracting vectors: The problem with the arrow representation. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res,* 15 (1) : 1-17.

Knight, R.D. (2013). *Physics for scientists and engineers: A strategic approach*, 3nd ed. San Francisco: Pearson Addison-Wesley.

Mesic, V. (2015). Comparing the Impact of Dynamic and Static Media on Students' Learning of One Dimensional Kinematics. *Eur. J. Phys*.11(5) : 1119-1140.

Nitjarunkul, K. (2015). The study of concepts understanding and using competence of teachers in educational innovation and technology for teaching management at schools of the unrest areas of three southern border provinces of Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174 : 2473-2480.

Phage, I. B. Lemmer, M, & Hitge, M. (2017). Probing Factors Influencing Students' Graph Comprehension Regarding Four Operations in Kinematics Graphs. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*. 21 (2) : 200-210.

Planinic, M., Ivanjek, L., Susac, A., & Milin-Sipus, Z. (2013). Comparison of university students' understanding of graphs in different contexts. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(2), 020103.

Ramnarain, U & Niekerk, C. (2013). Student naï;ve conceptions in their explanations in a grade 12 physics examination. *African Journal of Research in MST Education*, 16 (1) : 112-125.

Seroglou, F. & Koumaras, S. (2001). The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. *Science & Education*, 10 : 153-172.

Singh, C & Schunn, C. D. (2009). Connecting Three Pivotal Concepts in K-12 Science State Standards and Maps Of Conceptual Growth to Research in Physics Education . *Journal of Physics Teacher Education*, 5 (2): 16-42.

Sutopo, Liliasari, Waldrip, B., & Rusdiana, D. (2012). Impact of representational approach on the improvement of student's understanding of acceleration. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8(2), 161-173.

Sutopo. (2012). *Pembelajaran Kinematika Berbasis Diagram Gerak: Cara Baru dalam Pengajaran Kinematika*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 2 Juni.

Reif, F. & Allen, S. (1992). Cognition for interpreting scientific concepts: A study of acceleration. *Cognition and Instruction,* 9(1): 1-44.

Serway, R. A. & Jewett Jr., J. W. (2014). *Physics for scientists and engineers with modern physics,* 9th ed. Belmont, CA : Cengange Learning.

Hestenes, D & Wells, M. (1992). Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30:159-166.