

Identifikasi Kesulitan Siswa pada Topik Usaha dan Energi

Surayatum Muchoyimah¹, Sentot Kusairi², Nandang Mufti³
Pascasarjana Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Malang.
Jl. Semarang 5 Malang^{1,2,3}
E-mail: surayatum.muchoyimah@gmail.com

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kesulitan belajar siswa pada topik usaha dan energi. Survey dilakukan dengan instrumen tes pilihan ganda. Tes dilakukan terhadap 32 siswa SMA Negeri 1 Lawang kelas XII yang sudah mempelajari materi tersebut. Hasil tes menunjukkan siswa mengalami beberapa kesulitan. Kesulitan tersebut antara lain siswa belum mampu menerapkan teorema usaha-energi kinetik, menganalisis besarnya energi potensial pegas, menggambarkan grafik energi mekanik serta menganalisis usaha yang bekerja pada gaya non konservatif. Kesulitan siswa dalam memahami konsep usaha dan energi menyebabkan penguasaan konsep siswa rendah. *Embedded formative assessment* dalam pembelajaran dapat diterapkan untuk mengatasinya.

Kata kunci: kesulitan siswa, penguasaan konsep, usaha dan energi

Penguasaan konsep Fisika merupakan hal yang penting untuk dimiliki siswa. Penguasaan konsep Fisika akan mempengaruhi bagaimana cara siswa menjelaskan fenomena yang ada di sekitarnya (Hung & Jonasses, 2006) dan melakukan penarikan kesimpulan (Brookes & Etkina, 2015). Penguasaan konsep yang dimiliki oleh siswa dipengaruhi oleh konsep awal dan pembelajaran yang diterima siswa di kelas (Doctor & Mestre, 2014). Penguasaan konsep adalah salah satu tujuan pembelajaran meskipun demikian masih ada siswa yang mengalami kesulitan dalam penguasaan konsep (Cetin, 2014).

Salah satu topik Fisika yang menjadi fokus penelitian adalah usaha dan energi. Usaha dalam kehidupan sehari-hari dan usaha dalam Fisika memiliki arti yang berbeda. Hal ini yang sering menyebabkan siswa mengalami miskonsepsi. Energi adalah salah satu topik Fisika yang lingkupnya sangat luas dan banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari (Ding, 2007). Penelitian tentang topik usaha dan energi memang sudah banyak dilakukan tetapi belum ada yang secara khusus membahas tentang usaha dan energi tanpa melibatkan topik lainnya seperti momentum. Selain itu topik yang diujikan lebih sesuai untuk tingkat perguruan tinggi bukan untuk siswa SMA.

Konsep teorema usaha-energi sering kali menjadi kesulitan bagi siswa. Kesulitan tersebut antara lain membedakan antara gaya dan usaha, memahami usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi, menentukan tanda usaha yang bekerja pada benda serta kerja yang dilakukan pada dan oleh sistem (Singh & Rosengrant, 2003). Siswa juga masih kesulitan memahami bahwa usaha yang dilakukan oleh benda harus menyebabkan benda tersebut mengalami perpindahan (Abell & De Boer, 2011). Hal tersebut disebabkan karena materi usaha dan energi merupakan materi yang abstrak dan sering dianggap sebagai topik kedua atau ketiga (Ding dkk., 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesulitan yang dialami siswa dalam menguasai konsep usaha dan energi. Dengan melakukan penelitian ini maka peneliti mendapatkan data awal tentang kesulitan yang dialami oleh siswa. Data awal ini dapat

digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi peneliti melakukan perencanaan pembelajaran dengan *embedded formative assessment* pada *learning cycle 5E*.

METODE

Metode survey dilakukan pada penelitian ini. Instrumen yang digunakan adalah tes pilihan ganda beralasan tentang konsep usaha dan energi. Tes diberikan kepada siswa kelas XII di SMAN 1 Lawang. Siswa-siswa tersebut telah mendapatkan materi usaha dan energi di kelas XI. Tes dilakukan di kelas peminatan IPA dengan jumlah siswa sebanyak 32 siswa dengan jumlah perbandingan laki-laki dan perempuan yang sama. Tes yang diberikan diambil dari tesis dan jurnal-jurnal yang disesuaikan dengan fokus penelitian untuk mengungkap kesulitan siswa terhadap konsep usaha dan energi. Soal tes terdiri dari 10 soal dengan indikator soal antara lain pengertian usaha, grafik energi potensial dan hubungannya dengan kelajuan benda, perbandingan perubahan energi kinetik berdasarkan teorema usaha-energi kinetik, energi potensial pegas yang diberi massa, grafik energi mekanik terhadap ketinggian, faktor yang mempengaruhi energi kinetik konstan, kecepatan benda pada saat dijatuhkan dengan kecepatan awal yang sama, faktor yang menentukan usaha yang dikerjakan oleh gaya gravitasi, energi potensial pegas tanpa massa, serta usaha pada gaya non konservatif. Dengan adanya alasan yang diberikan siswa, peneliti dapat mengungkap letak kesulitan yang dialami siswa. Alasan tersebut dianalisis secara deskriptif sebagai tambahan untuk mengungkap kesulitan siswa.

HASIL

Dari soal tes penguasaan konsep usaha energi yang telah diberikan diketahui hanya ada beberapa soal yang mampu dijawab dengan benar oleh siswa. Dari tabel 1 diketahui bahwa siswa sudah mampu memahami pengertian usaha, grafik energi potensial dan hubungannya dengan kelajuan benda, faktor yang mempengaruhi energi kinetik konstan, serta energi potensial pegas tanpa massa.

Tabel 1. Hasil Tes Penguasaan Konsep Usaha dan Energi


| No soal | Indikator Soal | Persentase Benar (%) |
|---------|--|----------------------|
| 1 | Pengertian usaha | 72 |
| 2 | Grafik energi potensial dan hubungannya dengan kelajuan benda | 65 |
| 3 | Perbandingan perubahan energi kinetik berdasarkan teorema usaha-energi kinetik | 9,4 |
| 4 | Energi potensial pegas yang diberi massa | 6,2 |
| 5 | Grafik energi mekanik terhadap ketinggian | 34 |
| 6 | Faktor yang mempengaruhi energi kinetik konstan | 81 |
| 7 | Kecepatan benda pada saat dijatuhkan dengan kecepatan awal yang sama | 25 |
| 8 | Faktor yang menentukan usaha yang dikerjakan oleh gaya gravitasi | 44 |
| 9 | Energi potensial pegas tanpa massa | 62,5 |
| 10 | Usaha pada gaya non konservatif | 19 |

Kesulitan siswa antara lain pada teorema usaha-energi kinetik, energi potensial pegas yang diberi massa, grafik energi mekanik terhadap ketinggian, kecepatan benda saat dijatuhkan dengan kecepatan awal yang sama serta usaha pada gaya non konservatif. Soal-

soal dengan kesulitan tersebut dianalisis lebih jauh untuk mengetahui apa sebenarnya yang menyebabkan siswa mengalami kesulitan.

Teorema usaha energi kinetik menjelaskan bahwa perubahan energi kinetik yang dimiliki benda sama dengan usaha yang dikerjakan pada benda tersebut. Sehingga saat dihadapkan pada persoalan yang mengharuskan menghitung perubahan energi kinetik, jika gaya yang bekerja pada benda dan perpindahan benda diketahui maka dapat dihitung dengan rumus usaha tanpa mencari kecepatan akhir yang dimiliki benda. Inilah kesulitan yang masih dialami siswa. Siswa belum mampu menerapkan teorema usaha-energi kinetik pada soal seperti yang terlihat pada gambar 1. Pada soal tersebut jawaban yang tepat adalah A.

Tiga balok A, B dan C memiliki massa yang berbeda diletakkan di atas lantai. Ketiga balok tersebut didorong sejauh 10 m oleh gaya total horizontal yang berbeda-beda, seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Jika ketiga balok memiliki kecepatan awal 10 m/s, maka urutan perubahan energi kinetik dari terbesar hingga terkecil adalah....

A. A, C, B D. A, B, C
 B. C, B, A E. C, A, B
 C. B, C, A F. lainnya

Gambar 1. Butir soal untuk menilai penguasaan konsep siswa tentang teorema usaha-energi kinetik

Siswa yang menjawab benar yaitu A hanya 9,4%. Sebagian besar siswa menjawab B yaitu sebanyak 50%. Siswa yang menjawab D sebanyak 9,4% beranggapan bahwa perubahan energi kinetik berkebalikan dengan energi kinetik awal benda. Siswa yang menjawab E sebanyak 21,8%. Siswa yang menjawab ini sebetulnya sudah ada yang mampu menghitung usaha benda, tetapi tidak memahami bahwa usaha yang bekerja pada benda juga merupakan perubahan energi kinetik benda tersebut. Sisanya sebanyak 9,4% menjawab F seperti yang terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Persentase jawaban siswa pada gambar 1

| Pilihan | Jumlah Siswa (N) | Persentase (%) |
|---------|------------------|----------------|
| A | 3 | 9,4 |
| B | 16 | 50 |
| C | 0 | 0 |
| D | 3 | 9,4 |
| E | 7 | 21,8 |
| F | 3 | 9,4 |
| Total | 32 | 100 |

Terdapat dua soal yang membahas tentang energi potensial pada pegas. Soal yang pertama seperti gambar 2 membahas tentang besarnya energi potensial pegas yang dimiliki oleh dua buah pegas identik tetapi dengan massa beban yang berbeda. Sedangkan soal yang kedua seperti gambar 3 membahas tentang besarnya energi potensial pegas pada dua pegas identik yang mengalami pemampatan dan pertambahan panjang yang sama besar. Hasil dari jawaban siswa untuk kedua soal tersebut dapat dilihat pada tabel 3 dan 4.

Dua pegas A dan B identik, pegas A dihubungkan dengan balok bermassa m_A dan pegas B dihubungkan dengan balok bermassa m_B , dimana m_A lebih besar daripada m_B . Dua buah benda m_A dan m_B berada di atas bidang datar yang licin. Kedua pegas dimampatkan sejauh d yang sama, seperti terlihat pada gambar berikut.

Pernyataan di bawah ini yang benar berkaitan dengan perbandingan energi yang dibutuhkan untuk memampatkan pegas A dan pegas B adalah...

- A. Pegas A membutuhkan lebih banyak energi daripada pegas B
- B. Pegas A membutuhkan energi yang sama dengan pegas B
- C. Pegas A membutuhkan lebih sedikit energi daripada pegas B
- D. Energi yang dibutuhkan untuk memampatkan pegas A terkadang lebih besar dan terkadang lebih kecil daripada pegas B
- E. Informasi yang tersedia tidak cukup untuk menjawab pertanyaan tersebut

Gambar 2. Butir soal untuk menilai penguasaan konsep siswa tentang energi potensial pada pegas yang diberi massa yang berbeda

Tabel 3. Persentase jawaban siswa pada gambar 2

| Pilihan | Jumlah siswa (N) | Persentase (%) |
|----------|------------------|----------------|
| A | 22 | 68,8 |
| <u>B</u> | 2 | 6,2 |
| C | 5 | 15,7 |
| D | 1 | 3,1 |
| E | 2 | 6,2 |
| Total | 32 | 100 |

Dua pegas identik A dan B dapat memanjang sejauh 5 cm. Pegas A ditarik sejauh 2 cm. Pegas B ditekan sejauh 2 cm. Bandingkan energi potensial pegas A dan B. Manakah yang memiliki energi potensial pegas terbesar?

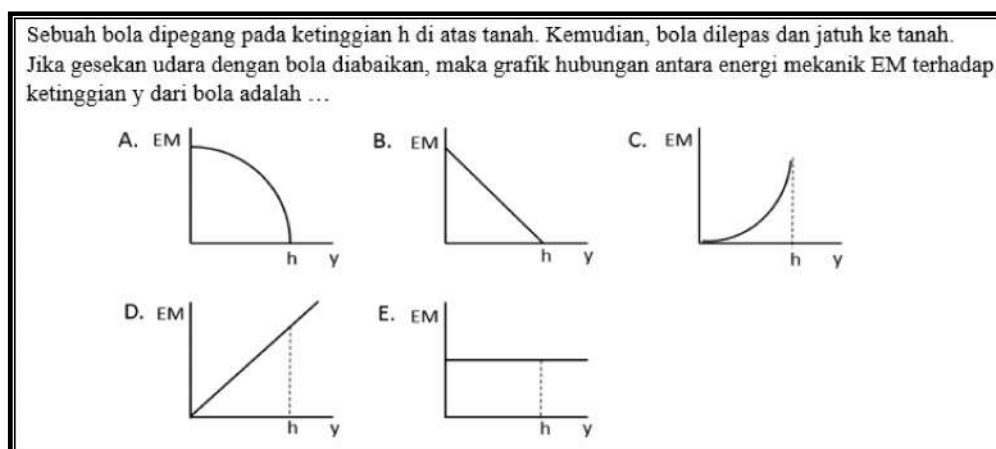
- A. Pegas A
- B. Pegas B
- C. Kedua pegas memiliki jumlah energi potensial pegas yang sama
- D. Tidak cukup informasi untuk menjawab

Gambar 3. Butir soal untuk menilai penguasaan konsep siswa tentang energi potensial pada pegas tanpa ada beban

Tabel 4. Persentase jawaban siswa pada gambar 3

| Pilihan | Jumlah siswa (N) | Persentase (%) |
|----------|------------------|----------------|
| A | 7 | 21,8 |
| B | 0 | 0 |
| <u>C</u> | 20 | 62,5 |
| D | 4 | 12,5 |
| Kosong | 1 | 3,2 |
| Total | 32 | 100 |

Pada butir soal berikutnya yaitu gambar 4, siswa diminta menentukan grafik hubungan antara energi mekanik dengan ketinggian benda yang jatuh bebas dari ketinggian tertentu.



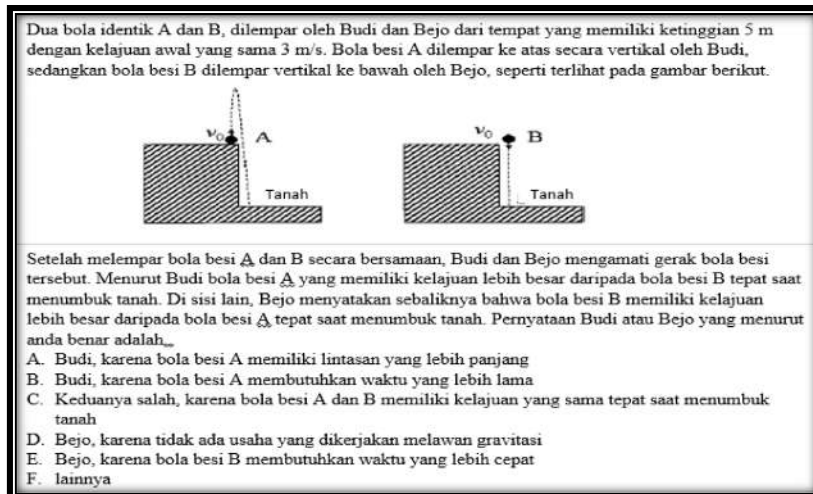
Gambar 4. Butir soal untuk menilai penguasaan konsep siswa tentang grafik hubungan antara energi mekanik dengan ketinggian bola

Tabel 5. Persentase jawaban siswa pada gambar 4

| Pilihan | Jumlah siswa (N) | Persentase (%) |
|----------|------------------|----------------|
| A | 1 | 3,1 |
| B | 2 | 6,2 |
| C | 3 | 9,4 |
| D | 15 | 46,9 |
| <u>E</u> | 11 | 34,4 |
| Total | 32 | 100 |

Siswa yang menjawab benar sesuai dengan tabel 5 ada 11 siswa dengan persentase 34,4%. Siswa yang menjawab D sebanyak 15 siswa atau 46,9%. Siswa yang menjawab D sebetulnya sudah mampu menyatakan bahwa energi mekanik adalah energi potensial dan energi kinetik.

Soal pada gambar 5 digunakan untuk mengetahui penguasaan konsep siswa tentang konservasi energi. Pada soal tersebut sebuah benda dilempar vertikal ke atas dan ke bawah dengan kecepatan yang sama, siswa diminta menentukan kecepatan benda saat sampai di tanah. Respon siswa terhadap soal ini dapat dilihat pada tabel 6. Berdasarkan tabel tersebut sebanyak 11 siswa menjawab A, yang beranggapan bahwa kecepatan bola yang dilempar vertikal ke atas akan memiliki kecepatan yang lebih besar dibandingkan saat benda dilempar vertikal ke bawah. Hanya 8 siswa yang menjawab dengan tepat bahwa kecepatan benda akan sama karena kecepatan benda tidak dipengaruhi oleh gaya gesekan sehingga berlaku gaya konservatif yang tidak dipengaruhi oleh lintasan benda.

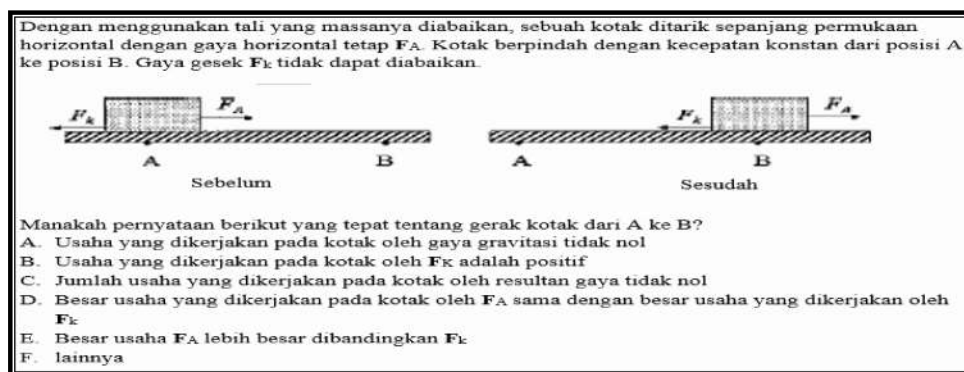


Gambar 5. Butir soal yang digunakan untuk mengetahui penguasaan konsep siswa tentang konservasi energi

Tabel 6. Persentase jawaban siswa terkait soal pada gambar 5

| Pilihan | Jumlah siswa (N) | Persentase (%) |
|---------|------------------|----------------|
| A | 11 | 34,4 |
| B | 0 | 0 |
| C | 8 | 25 |
| D | 9 | 28 |
| E | 3 | 9,4 |
| F | 1 | 3,2 |
| Total | 32 | 100 |

Soal pada gambar 6 digunakan untuk mengetahui penguasaan konsep siswa tentang usaha yang bekerja pada gaya non konservatif. Pada soal tersebut benda bermassa tertentu didorong dengan gaya tertentu pada bidang kasar yang berpindah dengan kelajuan konstan. Respon siswa terhadap soal ini dapat dilihat pada tabel 7.



Gambar 6. Butir soal yang digunakan untuk mengetahui penguasaan konsep siswa tentang usaha yang bekerja pada gaya non konservatif

Tabel 7. Persentase jawaban siswa terkait soal pada gambar 6

| Pilihan | Jumlah siswa (N) | Persentase (%) |
|---------|------------------|----------------|
| A | 1 | 3,1 |
| B | 0 | 0 |
| C | 5 | 15,6 |
| D | 6 | 18,7 |
| E | 16 | 50 |
| F | 3 | 9,4 |
| Kosong | 1 | 3,2 |
| Total | 32 | 100 |

Siswa yang menjawab benar hanya 6 siswa atau sekitar 18,7%. Sebagian besar siswa menjawab E dengan jumlah 16 siswa atau 50%. Siswa yang menjawab E terkecoh dengan benda yang bergerak ke arah kanan.

PEMBAHASAN

Siswa masih mengalami kesulitan saat menerapkan teorema usaha-energi kinetik. Saat benda dikenai suatu gaya maka kecepatan benda akan berubah sehingga mengalami perubahan energi kinetik (Scheer dkk., 2012). Siswa beranggapan bahwa energi kinetik hanya dipengaruhi oleh massa benda. Jadi semakin besar massa benda maka energi kinetiknya semakin besar tanpa mempertimbangkan kecepatan yang dimiliki oleh benda tersebut. Kecepatan awal benda yang sama tetapi dengan gaya yang berbeda menyebabkan siswa mengalami kesulitan. Ada juga siswa yang hanya mempertimbangkan energi kinetik terakhir benda, bukan perubahan energi kinetik benda.

Dari kedua butir soal yang mengungkap penguasaan konsep siswa tentang energi potensial pada pegas untuk soal pegas yang tanpa beban yaitu gambar 3, sebagian besar siswa sudah mampu menjawab dengan benar. Bahwa energi potensial dari pegas hanya dipengaruhi oleh konstanta pegas dan perubahan penjang pegas, meskipun dimampatkan atau dipanjangkan tetapi perubahannya sama sehingga energi potensialnya sama. Sedangkan pada soal untuk pegas yang diberi beban yaitu gambar 2, hanya sedikit siswa yang menjawab dengan benar. Siswa yang menjawab benar hanya sebanyak 2 siswa atau 6,2%. Sebagian besar siswa menjawab A yaitu sebanyak 22 siswa atau 68,8%. Siswa menjawab A karena beranggapan bahwa energi potensial yang dialami oleh pegas juga akan dipengaruhi oleh beban yang diletakkan pada pegas sehingga energi potensial pada pegas A lebih besar dibandingkan dengan energi potensial B. Variasi soal energi potensial yang berbeda sering kali membuat siswa bingung (Singh & Rosengrant, 2003) yang disebabkan kurangnya penguasaan konsep yang mereka miliki.

Energi mekanik yang terjadi pada benda yang dijatuhkan pada keadaan jatuh bebas dengan gesekan udara yang diabaikan akan memiliki nilai yang konstan. Energi mekanik sendiri merupakan penjumlahan antara energi kinetik dengan energi potensial. Kesulitan yang dialami siswa pada butir soal ini adalah siswa belum mampu untuk memahami bahwa saat energi potensial menurun maka energi kinetik yang dimiliki oleh benda akan semakin besar, sehingga energi mekanik yang dimiliki oleh benda akan selalu konstan pada ketinggian dimanapun. Siswa belum mampu menggambarkan persamaan atau konsep yang dimilikinya dalam bentuk grafik yang tepat. Kesulitan siswa disebabkan karena sumbu x atau horizontal

menunjukkan jarak yang ditempuh oleh benda sedangkan sumbu y atau vertikal menunjukkan energi (Dreyfus dkk., 2014).

Pada soal yang mengungkap penguasaan konsep siswa tentang konservasi energi siswa masih beranggapan bahwa lintasan yang dilalui oleh benda mempengaruhi kecepatan akhir benda. Siswa beranggapan bahwa benda yang dilempar vertikal ke atas akan memiliki kecepatan benda yang lebih besar dibandingkan saat benda dilempar vertikal ke bawah. Seharusnya kecepatan kedua benda akan sama karena kedua benda tersebut tidak dipengaruhi oleh gaya gesek. Hal ini membuktikan bahwa siswa masih mengalami miskonsepsi bahwa semakin besar lintasan yang dilalui oleh benda, energi kinetik sistem akan semakin besar (Dalaklioglu dkk., 2015).

Pada soal yang mengungkap penguasaan konsep siswa tentang usaha yang bekerja pada gaya non konservatif, siswa yang menjawab benar hanya 6 siswa atau sekitar 18,7%. Usaha yang bekerja pada gaya dorong akan sama dengan besarnya usaha yang bekerja pada gaya gesek kinetis sehingga resultan usaha yang bekerja pada benda sama dengan nol. Saat resultan usaha yang bekerja pada benda sama dengan nol maka resultan gaya yang dimiliki oleh benda sama dengan nol, sehingga percepatan benda sama dengan nol atau dengan kata lain benda bergerak dengan kelajuan tetap. Sebagian besar siswa menjawab E dengan jumlah 16 siswa atau 50%. Siswa yang menjawab E terkecoh dengan benda yang bergerak ke arah kanan. Siswa beranggapan karena benda mengalami perpindahan maka benda pasti memiliki usaha dimana besar usaha pada gaya dorong benda lebih besar dibandingkan dengan usaha yang bekerja pada gaya gesek benda. Siswa kurang memahami bahwa pada gaya non konservatif tidak ada usaha yang bekerja (Dalaklioglu dkk., 2015). Siswa belum memahami bahwa pada saat kecepatan benda konstan maka percepatan benda nol, meskipun benda mengalami perpindahan atau bergerak (Singh & Rosengrant, 2003).

Hasil tes penguasaan konsep siswa pada topik usaha dan energi cukup rendah. Hal ini bisa disebabkan karena tes dilakukan kepada siswa yang sudah lama menerima materi ini. Selain itu tes yang diujikan memuat lebih banyak konsep dibandingkan perhitungan matematis yang biasa dikerjakan atau didapatkan siswa. Siswa beranggapan bahwa menghafal rumus Fisika lebih penting dibandingkan dengan konsep Fisika. Sehingga saat dihadapkan pada soal-soal yang berhubungan dengan konsep dan sedikit perhitungan, sebagian besar siswa mengalami kesulitan.

Untuk mengatasi penguasaan konsep siswa yang rendah dapat diterapkan *embedded formative assessment* dalam pembelajaran. Penerapan penilaian formatif dalam pembelajaran akan membantu guru dalam memantau sejauh mana penguasaan konsep yang dimiliki oleh siswa. Dengan penilaian formatif, guru dapat memberikan umpan balik sehingga siswa dapat mengetahui apakah konsep yang dimilikinya sudah benar atau belum. Salah satu pembelajaran yang dapat diterapkan dengan *embedded formative assessment* adalah *learning cycle 5E*. Tahap pembelajaran *learning cycle 5E* sesuai untuk membangun konsep dan memperbaiki konsep yang dimiliki oleh siswa.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil tes dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan bahwa masih banyak siswa yang mengalami kesulitan dan menguasai konsep usaha dan energi. Siswa masih kesulitan saat menentukan perubahan energi kinetik yang merupakan usaha,

menentukan grafik hubungan antara energi mekanik dengan ketinggian benda saat benda jatuh bebas, menentukan besarnya energi potensial pegas saat diberi beban dan saat tidak diberi pegas. Selain itu siswa juga masih mengalami kesulitan menentukan resultan usaha saat ada beberapa gaya yang bekerja pada benda tersebut.

Oleh sebab itu, perlu adanya suatu pendekatan pembelajaran yang dapat meningkatkan penguasaan konsep siswa terutama pada materi usaha dan energi. Penerapan *embedded formative assessment* dalam pembelajaran juga mampu meningkatkan penguasaan konsep siswa. Hal ini disebabkan karena guru dapat memantau sejauh mana konsep yang diterima oleh siswa selama proses pembelajaran. Dengan meningkatnya penguasaan konsep yang dimiliki oleh siswa maka kemampuan lain seperti penalaran ilmiah siswa juga akan meningkat.

DAFTAR RUJUKAN

- Abell, Cari F.Hermann dan DeBoer, George E. 2011. *Investigating Students' Understanding of Energy Transformation, Energy Transfer, and Conservation of Energy Using Standarts-Bases Assessment Items*. American Association for the Advancement of Science/Project 20161. Paper presented at the 2011 NARST Annual Conference Orlando, FL
- Brookes, David T. & Etkina, Eugenia. 2015. *The Importance of Language in Students' Reasoning About Heat in Thermodynamic Processes*. International Journal of Science Education
- Cetin, P.S. 2014. *Explicit argumentation instruction to facilitate conceptual understanding and argumentation skills*. Research in Science & Technological Education. (32):1
- Dalaklioglu, Semih dkk. 2015. *Eleventh Grade Students' Difficulties and Misconceptions About Energy and Momentum Concepts*. International Journal on New Trends in Education and Their Implications. 6(1)
- Ding, Ling dkk. 2013. *How Do Students in an Innovative Principle-Based Mechanics Course Understand Energy Concepts?*. Journal of Research in Science Teaching
- Ding, Ling. 2007. *Designing an energy assessment to evaluate student understanding of energy topics*. ResearchGate
- Docktor, Jennifer L., & Mestre, Jose P. 2014. *Synthesis of discipline-based education research in physics*. Physics Education Research. 020119
- Dreyfus, B.W, dkk. 2014. *Ontological metaphors for negative energy in an interdisciplinary context*. Physics Education Research. 10(2)
- Hung, Woei & Jonasses, David H. 2006. *Conceptual Understanding of Casual Reasoning in Physics*. International Journal of Science Education. 28(13)
- Sherr, R.E dkk. 2012. *Representing energy. I. Representing a substance ontology for energy*. Physics Education Research. 8(2)
- Singh, C. & Rosengrant, D. (2003). Multiple-choice test of energy and momentum concepts. *American Journal of Physics*. 71(6)