

Identifikasi Kesulitan Mahasiswa Pada Topik Kemagnetan

Retno Cahyaningrum^{1*}, Arif Hidayat², dan Sutopo²

¹Pascasarjana Pendidikan Fisika Universitas Negeri Malang,
Jl Semarang 5 Malang 65145¹

²Jurusan Fisika Universitas Negeri Malang
Jl Semarang 5 Malang 65145²

*Email: retnocahyani93@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesulitan-kesulitan yang dialami mahasiswa pada topik kemagnetan, yaitu meliputi konsep medan magnet, gaya magnet, dan induksi elektromagnet. Sebanyak 31 mahasiswa S1 pendidikan fisika yang telah menempuh matakuliah elektromagnet diberikan 14 soal pilihan ganda beralasan. Alasan dalam menjawab soal digunakan untuk menganalisis penyebab kesalahan mahasiswa yang mungkin terjadi. Berdasarkan hasil tes didapatkan bahwa rerata skor yang diperoleh mahasiswa adalah 39,29 dari skor maksimal 100. Kesalahan yang masih dialami mahasiswa terdapat pada pokok bahasan tentang hukum Biot-Savart, hukum Ampere, dan gaya magnet pada muatan yang bergerak dalam medan magnet homogen. Hasil temuan ini dapat menjadi referensi dalam menyusun strategi pembelajaran guna mengurangi kesulitan yang masih dialami mahasiswa tersebut.

Kata kunci: kesulitan mahasiswa, kemagnetan, soal pilihan ganda beralasan

Fisika menjelaskan bagaimana alam bekerja berdasarkan fenomena. Salah satu fenomena alam yang cukup kompleks dan dijelaskan dalam fisika adalah pada topik kemagnetan. Pokok-pokok penting yang dibahas meliputi konsep medan magnet, gaya magnet, dan induksi elektromagnet. Konsep elektromagnet dalam topik kemagnetan memerankan peran penting sebagai dasar dalam menentukan struktur alami kehidupan dan pondasi teknologi terkini, sehingga pemahaman yang baik dalam topik ini mutlak diperlukan (Chabay, 2006).

Namun demikian masih banyak kesulitan-kesulitan baik yang dialami siswa maupun mahasiswa fisika dalam memahami konsep pada topik kemagnetan. Banyak siswa menafsirkan bahwa medan magnet dapat menghasilkan fenomena induksi elektromagnetik (Zuza, 2014; Saarelainen, 2007; Guisasola, 2013). Siswa memahami fluks magnetik sebagai “aliran” dari medan atau siswa juga mengalami kebingungan dengan konsep medan magnet sendiri (Albe, 2001). Pada tingkatan mahasiswa juga ditemukan bahwa banyak yang tidak memahami arti fisis hukum Faraday (Zuza (2014; Thong, 2008; Albe; 2001), Mauk, 2005). Kesulitan lainnya adalah mahasiswa tidak mampu mengenali fenomena induksi elektromagnetik ketika tidak ada arus induksi (Zuza, 2014; Thong, 2008; Guisasola, 2013).

Kesulitan yang dialami mahasiswa harus segera diidentifikasi agar ditemukan solusi untuk menanggulangnya secepatnya. Oleh sebab itu dilakukan identifikasi materi medan magnet, gaya magnet dan induksi elektromagnet pada topik kemagnetan untuk mengatasi kesulitan yang masih dimiliki mahasiswa. Hasil ini digunakan untuk menyusun langkah tindak lanjut berupa strategi pembelajaran yang sesuai dan dapat mengurangi kesulitan yang dialami.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada 32 mahasiswa S1 pendidikan fisika Universitas Negeri Malang. Subjek penelitian yang dipilih merupakan mahasiswa yang telah mendapatkan matakuliah elektromagnet.

Instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi kesulitan pada topik kemagnetan terdiri dari 14 soal pilihan ganda. Instrumen soal nomor 1-13 diadaptasi dari Mufidah (2017) dan soal nomor 14 dari Centerino (2006). Soal-soal tersebut digunakan untuk mengetahui pemahaman konseptual mahasiswa terkait topik kemagnetan, yang meliputi konsep gaya magnet pada partikel yang bergerak dalam medan magnet, pengaruh medan magnet pada energi kinetik partikel, torsi pada loop berarus, hukum Biot-Savart, Hukum Amphere, dan Hukum Lenz pada fenomena induksi elektromagnetik seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsep-konsep pada Topik Kemagnetan

No	Konsep	Nomor Soal
1	Gaya magnet pada partikel yang bergerak dalam medan magnet (\vec{B})	1, 2, 3, 4, 8, 10
2	Pengaruh medan magnet (\vec{B}) terhadap energi kinetik (E_k) partikel bermuatan	9
3	Torsi pada loop berarus listrik	11
4	Hukum Biot-Savart	5, 6, 7, 13
5	Hukum Amphere	12
6	Hukum Lenz pada fenomena induksi elektromagnetik	14

Secara umum konsep-konsep yang disajikan dapat mengakses pemahaman mahasiswa terkait topik kemagnetan telah tersebar merata. Namun pada aspek gerak partikel bermuatan dalam medan magnet dan hukum Biot-Savart memiliki jumlah soal yang banyak, karena pada konsep tersebut cukup kompleks sehingga mahasiswa mudah terjebak di dalamnya. Sedangkan pada konsep-konsep lain tersebar merata dalam setiap nomor soal. Setiap konsep dalam instrumen ini tersusun secara bertahap guna menggali pemahaman mahasiswa.

Data jawaban siswa dari soal pilihan ganda dianalisis dan disajikan dalam statistik deskriptif. Statistik yang digunakan meliputi perhitungan rerata (*mean*) skor yang didapat dan standar deviasinya. Hasil dari analisis ini akan memberikan gambaran pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep fisika pada topik kemagnetan.

HASIL

Setelah dilakukan tes pemahaman konsep pada topik kemagnetan terhadap 31 mahasiswa S-1 pendidikan fisika diperoleh skor rata-rata mencapai 5,4 dengan standar deviasi 16,32 (Tabel 2). Skor maksimum yang dicapai mahasiswa adalah 11 dengan nilai 79 dan skor minimumnya 0. Hasil yang diperoleh tidak merata dan cenderung termasuk dalam kategori rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa masih banyak ditemukan kesulitan dan kesalahan mahasiswa terkait topik kemagnetan.

Tabel 2. Statistik Deskriptif

Statistik	Skor
Rata-rata	39,29
Standar Deviasi	16,32
Nilai Maksimum	79
Nilai Minimum	0

*Skor maksimum 100

Kondisi ini menjadikan perlunya menyelidiki kesulitan mahasiswa dalam memecahkan soal tersebut. Setiap butir soal yang telah dijawab mahasiswa dianalisis alasan pemilihan jawabannya sehingga menghasilkan pilihan jawabannya, baik yang benar atau salah. Berikut merupakan sebaran jawaban mahasiswa pada setiap soal yang diujikan (Tabel 3)

Tabel 3. Sebaran Jawaban Mahasiswa pada Setiap Butir Soal Topik Kemagnetan

Pilihan Jawaban	A	%	B	%	C	%	D	%	E	%	F	%	Abs
Pertanyaan													
1	3	9,7	22	70,9	3	9,7	3	9,7	-	-	-	-	-
2	5	16,1	8	25,8	8	25,8	4	12,9	6	19,4	-	-	-
3	15	48,4	4	12,9	8	25,8	4	12,9	-	-	-	-	-
4	5	16,1	10	32,3	1	3,2	2	6,4	12	38,7	-	-	1
5	24	77,4	3	9,7	2	6,4	2	6,4	0	0	-	-	-
6	5	16,1	0	0	16	51,6	6	19,4	4	12,9	-	-	-
7	0	0	1	3,2	9	29,0	9	29,0	12	38,7	-	-	-
8	20	64,5	6	19,4	5	16,1	0	0	-	-	-	-	-
9	4	12,9	21	67,7	5	16,1	1	3,2	0	0	-	-	-
10	14	45,1	12	38,7	4	12,9	0	0	-	-	-	-	-
11	1	3,2	16	51,6	7	22,6	5	16,1	2	6,4	0	-	-
12	1	3,2	7	22,6	3	9,7	6	19,4	14	45,1	-	-	-
13	1	3,2	3	9,7	13	41,9	13	41,9	0	0	-	-	1
14	2	6,4	9	29,0	11	35,5	7	22,6	2	6,4	-	-	-

*Angka yang dicetak tebal merupakan pilihan jawaban benar

Berdasarkan pada Tabel 3 tersebut diketahui bahwa ada beberapa soal yang memiliki tingkat kebenaran diatas 50%. Konsep tersebut diantaranya adalah konsep medan magnet pada 2 kawat sejajar yang lurus berarus yaitu dengan persentase 77,4% pada nomor 6 dan 51,6% pada nomor 7; konsep Gaya magnetik pada muatan yang bergerak dalam medan magnet ($\mathbf{F_B} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$) yaitu pada nomor 1 dengan 70,9% dan nomor 8 dengan 64,5%, serta pada konsep torsi pada loop berarus listrik pada nomor 11 dengan 51,6%.

Pada tabel 3 tersebut juga diketahui beberapa kesulitan konsep fisika yang masih dialami mahasiswa, yakni terlihat pada persentase jawaban dari soal pilihan ganda yang berada dibawah 50%. Konsep tersebut diantaranya adalah konsep gaya magnet pada muatan yang bergerak yaitu nomor 2, 3, 4, 10; Hukum Biot Savart pada nomor 5, 6, 7, 8, 13; Hubungan medan magnet B dengan energi kinetik partikel yang bergerak di dalamnya pada nomor 9 dengan 16,1%; Hukum Ampere pada nomor 12 dengan 19,4; serta Hukum Lenz pada Induksi Elektromagnetik pada nomor 14 dengan 35,5%.

Kesulitan-kesulitan mahasiswa yang diidentifikasi melalui rendahnya persentase jawaban dan dapat diketahui lebih dalam melalui alasan pemilihan jawaban tersebut.

PEMBAHASAN

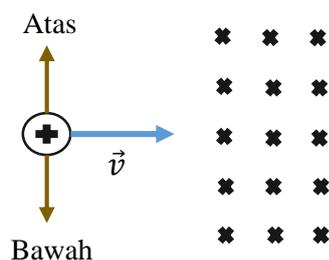
Kesulitan terkait Gaya Magnet pada Muatan yang Bergerak di dalam Medan Magnet

Muatan yang bergerak di dalam medan magnet homogen akan dipengaruhi gaya magnet. Konsep tersebut merupakan konsep penting yang harus difahami mahasiswa sebelum belajar konsep-konsep lain dalam pokok bahasan medan magnet. Berdasarkan data pada Tabel 2 diketahui bahwa mahasiswa belum menguasai sepenuhnya terhadap konsep ini. Terlihat pada soal no 1, lebih dari 50% menjawab benar soal tentang konsep tersebut. Namun pada nomor 2,3 4 dan 10 persentase jawaban benar dari mahasiswa kurang dari 50%.

Berdasarkan soal nomor 2, 3, dan 4 dapat diketahui bahwa kesulitan yang masih dialami mahasiswa pada umumnya terdapat pada penentuan arah gerak partikel bermuatan di dalam medan magnet homogen. Sedangkan pada nomor 10, kesulitan terletak pada penggunaan rumus dan konteks yang berbeda-beda dalam menyelesaikan 1 permasalahan. Sebenarnya mahasiswa telah memiliki konsep awal bahwa ketika partikel memasuki medan magnet maka gerakannya pasti akan dibelokkan. Namun pemahaman tentang bagaimana arah gerak dan jari-jari lintasan yang terbentuk belum sepenuhnya dikuasai.

Pengetahuan yang masih tumpang tindih dan tidak saling berhubungan menyebabkan pemahaman konsep yang kurang benar. Pengetahuan yang terpotong-potong menyebabkan mahasiswa kesulitan dalam memahami suatu konsep (Hammer, 2000). Fenomena ini sesuai dengan teori potongan pengetahuan, yang menyatakan bahwa potongan-potongan pengetahuan yang belum terangkai akan menyebabkan kesulitan dalam memahami konsep (docktor, 2014). Potongan pengetahuan di dalam pikiran akan membentuk suatu rangkaian atau schemata di dalam *long-term memory* (Reddish, 2014). Ketika potongan pengetahuan yang terangkai dalam *long-term memory* itu salah dan tidak tersusun dalam konsep yang lebih besar serta diaktivasi pada konsep tertentu, maka saat digunakan dalam menjelaskan fenomena akan menimbulkan kesalahan konsep (Rahmawati, 2016).

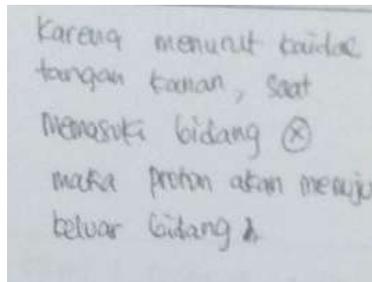
Kesulitan awal mahasiswa teridentifikasi pada soal nomor 2 yaitu ketika ada muatan positif (+) yang bergerak dalam medan magnet homogen dengan arah masuk bidang, seperti pada gambar berikut.



Gambar. 1. Representasi Gambar Soal Nomor 2

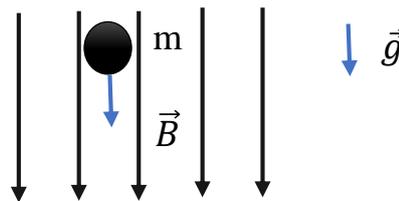
Persentase jawaban terbanyak mahasiswa yaitu 25,8% menjawab pada opsi b dan c. Opsi c merupakan jawaban yang benar, yaitu dibelokkan ke atas, membentuk lintasan setengah lingkaran, dengan kelajuan konstan dan ketika keluar daerah medan bergerak lurus ke kiri. Sedangkan pada opsi b, yaitu terus bergerak pada arah ke kanan dengan kecepatan konstan. Kesalahan pada opsi b disebabkan karena mahasiswa tidak paham bahwa ketika sebuah partikel positif memasuki medan magnet maka pasti akan dibelokkan. Arahnya dapat diketahui dengan

kaidah tangan kanan dengan arah ibu jari sebagai arah gerak partikel, rapatan keempat jari arah B , dan arah normal bidang telapak tangan sebagai arah gaya magnet. Kebanyakan alasan jawaban mahasiswa telah menyatakan bahwa untuk melihat arah gaya magnet pada muatan yang bergerak dapat digunakan kaidah tersebut, namun belum menjelaskannya secara kongkrit seperti pada gambar 2 berikut.



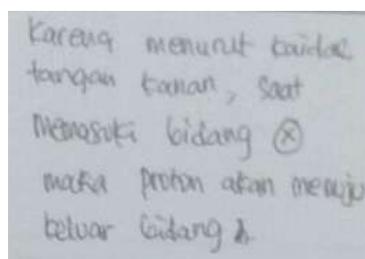
Gambar 2. Salah 1 alasan jawaban siswa soal nomor 2

Pengetahuan pada nomor 2 akan digunakan lagi dalam nomor 3, yaitu menentukan gerak partikel saat bergerak searah dengan medan magnet yang diilustrasikan seperti pada gambar berikut.



Gambar. 3 Representasi gambar pada soal Nomor 2

Kebanyakan mahasiswa menjawab pada opsi a, yaitu gerakan partikel mula-mula bergerak kebawah kemudian dibelokkan ke kiri. Pemilihan opsi ini, menjelaskan bahwa pemahaman mahasiswa tidak utuh dan mendalam. Analisis yang hanya pada permukaan masalah menyebabkan kesalahan menyelesaikan persoalan tersebut. Mahasiswa cenderung hanya memahami bahwa gerak partikel akan dibelokkan tanpa meninjau arah gerak partikel dan medan magnet, seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Salah 1 alasan jawaban siswa soal nomor 3

Hal ini juga berlaku pada soal nomor 4, yaitu menentukan urutan nilai gaya magnet dari terkecil hingga terbesar pada partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnet $\vec{B} = B_0\hat{z}$ berdasarkan nilai kecepatan awalnya \vec{v}_0 . Secara umum mahasiswa menjawab bahwa pada saat

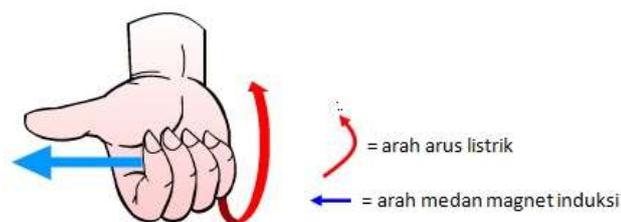
arah gerak partikel terbesar yaitu pada arah \hat{x} . Mahasiswa tidak meninjau lebih dalam partikel bermuatan apa yang bergerak, sehingga perumusan gaya magnet $F = Bq \times v$ langsung diterapkan. Padahal muatan partikel juga menentukan arah gerak partikel tersebut di dalam medan magnet homogen.

Berdasarkan permasalahan nomor 2, 3, dan 4 yang telah diuraikan pada paragraf sebelumnya diketahui bahwa saat menjawab soal dengan konsep gaya magnet pada muatan yang bergerak dalam medan magnet dengan hanya melihat permukaan masalah saja. Penyelesaian permasalahan bergantung pada soal, bukan pada konteks fisika yang sesuai. Pada soal dengan konteks fisika yang sama, akan diselesaikan dengan beragam cara ketika soal tersebut dikemas dalam bentuk yang berbeda. Hal ini biasa dilakukan oleh *novice*, yaitu mengenali dan menyelesaikan masalah berdasarkan permukaan masalah (*surface features*) (Mason and Singh, 2011). Ketika soal konsep gaya magnet pada muatan yang bergerak dalam medan magnet dikemas dalam bentuk soal yang berbeda, maka mahasiswa menggunakan konsep yang berbeda atau konsep yang sama namun pengetahuan tentang konsep tersebut tidak lengkap atau terpotong-potong (Rahmawati, 2016).

Kesulitan terkait Hukum Biot Savart

Hukum Biot-Savart merupakan konsep dasar dalam magnetostatis yang dapat dijabarkan untuk mendapatkan perumusan medan magnet. Suatu medan magnet akan timbul akibat adanya arus listrik. Suatu titik yang berada di sekitar kawat berarus listrik akan terpengaruh medan magnet. Sehingga secara matematis hukum Biot-Savart dapat dirumuskan $d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds \times \hat{r}}{r^2}$. Medan magnet dinotasikan dengan B yang satuannya Tesla, I merupakan arus listrik, r adalah jarak antara titik dengan kawat berarus, ds merupakan segmen kawat berarus listrik dan \hat{r} merupakan vector jarak dari segmen kawat menuju ke titik yang dituju.

Sumber medan magnet dapat berupa kawat lurus atau kawat melingkar yang dialiri arus listrik. Medan magnet merupakan besaran vektor, sehingga memiliki besar dan arah. Penentuan arah medan magnet misalnya pada kawat lurus dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kaidah Tangan Kanan untuk Menentukan Arah B

Konsep Biot-Savart diwakili oleh 4 soal pada nomor 5, 6, 7 dan 13. Pada soal 5, 6, dan 7 merupakan terapan hukum Biot Savart yang biasa dikenal yaitu dengan menggunakan persamaan matematis $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ untuk kawat lurus panjang tak terhingga dan $B = \frac{\mu_0 I}{2r}$ untuk kawat melingkar berarus listrik. Sebenarnya bentuk persamaan matematis ini sudah umum karena pada tingkatan SMA khususnya kelas XII secara praktis persamaan ini diterapkan dalam soal.

Pada nomor 5 dan 6 berdasarkan persentase jawaban disimpulkan bahwa mahasiswa tidak memiliki kesulitan berarti dalam memahami konsep medan magnet diantara 2 kawat lurus panjang tak terhingga yang berarus listrik. Sedangkan pada soal nomor 7, hanya 38,7% persentase jawaban benar dari mahasiswa. Kebanyakan kesalahan mahasiswa menganggap medan magnet pada kawat melingkar berbentuk setengah lingkaran seperti pada soal adalah $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$ dan $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$. Pemahaman mahasiswa hanya berfokus pada adanya medan magnet pada kawat melingkar berarus listrik, tanpa meninjau bentuk kawat tersebut. Hal ini juga menjadi bukti bahwa tinjauan masalah hanya pada permukaan dari soal tersebut.

Pada nomor 13 yaitu tentang makna fisis dari persamaan hukum Biot-Savart, kebanyakan mahasiswa menganggap bahwa besar medan magnet sebanding dengan $\frac{1}{r^2}$. Padahal konsep ini akan benar jika pada turunan medan magnet dB. Sedangkan untuk nilai medan magnet akan sebanding dengan $\frac{1}{r}$.

Berdasarkan respon mahasiswa terhadap 2 soal terkait konsep hukum Biot-Savart pada nomor 7 dan 13, ditemukan kesulitan mahasiswa dalam memahami konsep tersebut yaitu (1) mahasiswa belum memahami makna fisis dari perumusan hukum Biot-Savart, (2) mahasiswa kesulitan menerapkan persamaan matematis Hukum Biot-Savart dalam berbagai kondisi tertentu, seperti menentukan besar medan magnet pada segmen kawat melingkar berarus listrik. Kesulitan memahami konsep tersebut disebabkan karena tinjauan permasalahan hanya pada permukaan, seperti untuk menyelesaikan medan magnet kawat berarus yang berbentuk lingkaran di atas.

Kesulitan terkait hubungan medan magnet \mathbf{B} dengan energi kinetik partikel yang bergerak di dalamnya

Hubungan energi kinetik partikel yang bergerak dalam medan magnet \mathbf{B} pada nomor 10 memiliki persentase jawaban benar mencapai 16,1%. Banyak mahasiswa memilih opsi b, yaitu medan magnet dapat merubah kecepatan partikel bermuatan, sehingga dapat merubah energi kinetik partikel. Pemilihan jawaban ini disebabkan karena mahasiswa hanya mengenali masalah berdasarkan pengetahuan yang menyatakan bahwa partikel yang bergerak dalam medan magnet akan dibelokkan dan akan berlaku sama untuk energi kinetik partikel tersebut.

Ketika sebuah partikel bergerak dalam medan magnet maka arah gerak atau arah kecepatannya akan berubah. Hal ini yang menyebabkan partikel tersebut berbelok. Namun besar kecepatan partikel tersebut adalah tetap, sehingga nilai energi kinetiknya pun juga tetap. Konsep inilah yang terlewat dari mahasiswa. Kebanyakan hanya menganalisis sebatas permukaan masalah dan tidak meninjaunya lebih mendalam. Pada konsep ini terlihat pula bahwa cara mahasiswa dalam menyelesaikan masalah seperti para *novice* yang melihat suatu permasalahan dari permukaannya saja.

Kesulitan terkait Hukum Ampere

Hukum Ampere dalam penelitian ini diakses melalui arti fisis persamaan matematis $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$ pada soal nomor 12. Mahasiswa diminta menjelaskan makna fisis dari integral tertutup tersebut. Sebanyak 45,1% kesalahan mahasiswa menyatakan bahwa integral tertutup pada hukum Ampere adalah integral pada permukaan tertutup yang mengelilingi seluruh kawat yang menghasilkan medan \vec{B} .

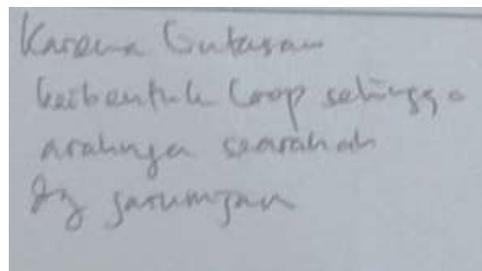
Pemahaman ini keliru, karena integral tertutup bermakna bahwa integral pada lintasan tertutup, bukan bergantung apakah permukaan tersebut mengandung medan magnet atau tidak. Mahasiswa menganggap bahwa hukum ampere berlaku ketika ada medan magnet. Hal ini yang menjadi cikal bakal kekeliruan pemahaman dari mahasiswa.

Pemahaman sepotong pengetahuan yang keliru telah terangkai dengan beberapa pengetahuan lain tentang medan magnet. Tentunya sangat fatal apabila kesalahan konsep ini terus berlanjut dan dampaknya juga akan menimbulkan kesulitan memahami konsep fisika untuk menjelaskan fenomena alam.

Kesulitan terkait Hukum Lenz pada Induksi Elektromagnetik

Arus induksi akan dihasilkan ketika ada ggl induksi yang ditimbulkan akibat adanya perubahan fluks terhadap waktu. Pernyataan ini dinyatakan dalam hukum Faraday, yaitu $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ dimana ε adalah ggl induksi, Φ_B adalah fluks magnetik, dan t adalah waktu. Perubahan fluks dapat ditentukan dengan perubahan medan magnet atau perubahan luas permukaan yang ditembus garis medan magnet. Tanda negatif pada persamaan tersebut menyatakan bahwa arah arus induksi selalu melawan perubahan fluks magnetiknya.

Pada soal nomor 14, diketahui bahwa banyak mahasiswa yang menentukan arah arus listrik induksi tanpa melawan perubahan fluks (medan magnet yang berubah). Hal ini tentunya melanggar konsep Hukum Lenz. Mahasiswa melihat bahwa saat loop berada dalam medan magnet yang besarnya meningkat maka untuk menentukan arah arus induksi dengan menggunakan kaidah tangan kanan seperti pada Gambar 6. Ia tidak mengkaji lebih lanjut perihal perubahan medan magnet yang terjadi dan hubungannya dengan arus induksi yang dihasilkan.



Gambar 6. Salah 1 alasan jawaban siswa soal nomor 14

SIMPULAN DAN SARAN

Pemahaman konsep mahasiswa terkait topic kemagnetan mahasiswa fisika UM yang telah menempuh matakuliah electromagnet secara umum rendah dengan skor rerata 39,29 (SD = 16,32). Persentase jawaban mahasiswa yang menjawab soal dengan benar hanya sedikit. Begitu pula alasan dibalik jawaban tersebut yang belum mengena secara tepat. Terutama pada konsep hukum Biot-Savart yang merupakan dasar untuk menentukan medan magnet pada kawat berarus belum dikuasai secara menyeluruh oleh mahasiswa. Jika konsep dasarnya saja masih belum terpondasi dengan kuat, maka untuk memahami konsep berikutnya juga akan mengalami kesulitan, misalnya dalam memahami konsep gaya magnet, hukum Lenz, dan induksi electromagnet.

Temuan ini dapat digunakan sebagai bahan perbaikan untuk mengatasi kesulitan mahasiswa melalui berbagai strategi pembelajaran fisika. Namun tidak mudah mengatasi

kesulitan pemahaman materi tersebut tanpa adanya kegiatan pembelajaran yang optimal. Kegiatan pembelajaran optimal akan tercapai jika ditekuni dalam kurun waktu tertentu dan terus berlatih menyelesaikan permasalahan. Hal ini cukup sulit dilakukan mengingat waktu kegiatan pembelajaran di kelas terbatas, sehingga dibutuhkan pendalaman atau resitasi yang dapat diakses mahasiswa baik saat di kelas maupun di luar kelas. Program resitasi disertai dengan umpan balik (*feedback*) atas jawaban yang dipilih untuk menjelaskan pilihannya tersebut. Berdasarkan beberapa hal tersebut, maka dibutuhkan strategi pembelajaran yang dapat memberikan *feedback* langsung supaya kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi saat pengerjaan soal tersebut dapat segera dikenali dan diperbaiki.

DAFTAR RUJUKAN

- Albe, V, P. Venturini, & J. Lascours. (2001). Electromagnetic Concepts In Mathematical Representation Of Physics. *Journals of Science Education Technology*, 10: 197.
- Arends, I. (2012). *Learning to Teach Ninth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Centerino, J. R. (2004). *Physic B and C*. ISBN: 0-7645-3985-X. Printed in the United States of America.
- Chabay, Ruth & Brice Sherwood. (2006). Restructuring the introductory electricity and magnetism course. *American Journal of Physics* 74, 329 (2006); doi: 10.1119/1.2165249.
- Docktor, J. L. & José P. M. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*. 10, 020119.
- Guisasola, J., dkk. (2013). University Students' Understanding of Electromagnetic Induction. *American Physics Journal*. ISSN 0950-0693 (print)/ISSN 1464-5289 /11/000001–26.
- Hammer, D. (2000). Student Resources for Learning Introductory Physics. *American Journal of Physics*, LXVIII (7): 52-59.
- Kohl, P., Rosengrant, & D., Finkelstein, N. (2007). Strongly and Weakly Directed Approaches to Teaching Multiple Representation Use in Physics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 3, 010108.
- Knight, R. D. (2008). *Physics for Scientists and Engineers Second Edition*. San Fransisco: Pearson Education Inc.
- Markus, S. (2009). *Maestro Fisika Latihan Dasar Olimpiade Fisika*. Bandung: Yrama Widya.
- Mason, A. S. C. (2011). Assesing Expertise in Introductory Physics Using Categorization Task. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*. 7, 020110 (2011): 1-17.
- Mashood, K. K., & Singh, A. V. (2012). An Inventory on Rotational Kinematics of a Particle: Unravelling Misconceptions and Pitfalls in Reasoning. *European Journal of Physics*, XXXIII (2012): 1301-1312.
- Pollock, S. (2009). Longitudinal Study of Student Conceptual Understanding in Electricity and Magnetism. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5 (020110).
- Rahmawati, I. (2016). Identifikasi Kesulitan Mahasiswa Pada Materi Dinamika Rotasi. *Prosiding Semnas Pend. IPA Pascasarjana UM*. Vol. 1, 2016, ISBN: 978-602-9286-21-2.
- Redish, E. F. (2003). *Teaching Physics with Physics Suites*. Malloy Litographing: United States of America.

- Rimoldini, G. L., & Singh, C. (2005). Student Understanding of Rotational and Rolling Motion Concepts. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 1, 010102 (2005): 1-9.
- Saareleinen, M. (2006). Students' Initial Knowledge Of Electric And Magnetic fields—More Profound Explanations And Reasoning Models For Undesired Conceptions. *Institute Of Physics Publishing - European Journal Of Physics*. 28: 51–60.
- Serway, R. A. & Jewett, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics Ninth Edition*. Boston: Brooks/Cole.
- Singh, C. (2007). Effect of misconceptions on transfer in problem solving, in *Proceedings of the Physics Education Research Conference*, edited by Hsu, L., Hendersen, C., McCullough, L., AIP Conf. Proc. No. 951, AIP, Melville, NY, 196.
- Thong, W., Meng & R. Gunstone. (2008). Some Students Conceptions Of Electromagnetic Induction, *Res. Sci. Educ.* 38: 31.
- Young, H. G. & Freedman, R. A. (2012). *University Physics*. San Fransisco: Pearson Education Inc.
- Zuza, K. dkk. (2012). Rethinking Faraday's Law For Teaching Electromotive Force. *Europe Journals of Physics*, 33: 397.
- Zuza, K. dkk. (2014). Addressing Students' Difficulties With Faraday's Law: A Guided Problem Solving Approach. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10, 010122.