

Deskripsi Kemampuan Representasi Matematik dalam Pemecahan Masalah Fisika pada Perkuliahan Listrik Magnet

Rambu Ririnsia Harra Hau^{1,2,✉}, Putut Marwoto¹, Ngurah Made Dharma Putra¹, Wiyanto¹

¹Prodi Pendidikan Fisika, Pascasarjana, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

²Prodi Pendidikan Fisika, Universitas Nusa Nipa, Maumere 86111

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima:
9 Agustus 2017

Disetujui:
8 Januari 2018

Dipublikasikan
9 Februari 2018

Keywords:
Ability of mathematical representation, problem solving, electricity and magnetism

Abstrak

Kemampuan representasi matematis dalam memecahkan masalah listrik magnet, mahasiswa akan mengungkapkan karakteristik listrik magnet. Topik listrik magnet tergolong konsep yang abstrak dan teoritis berupa matematis. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kemampuan representasi matematik mahasiswa dalam memecahkan masalah fisika pada perkuliahan listrik magnet. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode deskripsi kualitatif. Subjek penelitian ini adalah mahasiswa semester IV Program Studi Pendidikan Fisika UNNES. Pengumpulan data dilakukan dengan memberikan soal pada mahasiswa yang sebelumnya telah mendapatkan materi garis medan dan hukum Gauss pada mata kuliah listrik magnet. Hasil analisis data berdasarkan langkah-langkah hasil pekerjaan mahasiswa menunjukkan bahwa kemampuan representasi matematik dalam memecahkan masalah fisika pada perkuliahan listrik magnet pada kategori tinggi dengan jumlah paling sedikit yaitu sebesar 9%, selanjutnya kategori sedang dengan jumlah mahasiswa paling banyak yaitu sebesar 75%, dan kategori rendah yaitu sebesar 16%.

Kata kunci: kemampuan representasi matematik, pemecahan masalah, listrik magnet

Abstract

The ability of a mathematical representation in solving electricity and magnetism problems, students will reveal the electrical characteristics of magnets. Electricity and magnetism topics are classified as abstract and theoretical mathematical concepts. This study aims to determine the description of students' mathematical representation ability in solving physics problem in electricity and magnetism lecture. This research used descriptive qualitative method. The subject of this research is the fourth semester student of Physics Education Study Program at UNNES. The data was collected by giving the question to the students who had previously obtained the material of field line and the law of Gauss in the electricity and magnetism course. The results of data analysis based on the steps of student work showed that the ability of mathematical representation in solving physics problem in electricity and magnetism lecture on high category with the least amount that is 9%, then the medium category with the most number of students that is equal to 75%, and category low at 16%.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Kampus Unnes Kelud Utara III, Semarang, 50237
E-mail: hrambu@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika selama ini lebih banyak menggunakan pendekatan matematik. Hal ini sejalan dengan pendapat Lindenfeld (2002) yang menyatakan bahwa dosen terlalu banyak menghabiskan waktu untuk masalah matematika. Kondisi ini dapat membuat mahasiswa untuk terbiasa menghafal rumus-rumus fisika daripada memahami makna fisis dari konsep-konsep fisika dalam bentuk representasi. Akibatnya mahasiswa mengalami kesulitan untuk memecahkan persoalan fisika. Kemampuan representasi dalam pembelajaran fisika digunakan untuk meminimalisasi kesulitan siswa dalam pelajaran fisika (Dolin, 2002). Representasi merupakan salah satu aspek psikologi yang digunakan untuk menjelaskan beberapa fenomena penting tentang cara berpikir mahasiswa (Dahlan & Juandi, 2011.). Representasi yang dimunculkan oleh mahasiswa merupakan ungkapan-ungkapan dari gagasan-gagasan atau ide-ide matematis yang ditampilkan mahasiswa dalam upaya untuk mencari solusi masalah yang dihadapinya.

Keberhasilan mahasiswa dalam memecahkan masalah fisika dipengaruhi oleh format representasi terhadap masalah tersebut (Kohl & Noah, 2005). Format-format representasi ini sangat penting dalam pemahaman fisika (Salkind, 2007) diantaranya verbal, gambar, grafik dan matematik (Waldrup & Prain., 2006). Fungsi satu format representasi berfungsi untuk membatasi kemungkinan kesalahan menginterpretasikan dalam menggunakan representasi lain sehingga tingkat pemahaman siswa akan lebih baik dalam melihat berbagai permasalahan fisika. Hasil penelitian Kusumawati *et al* (2015) menyatakan penggunaan multirepresentasi yang paling tinggi yaitu siswa cenderung menggunakan representasi matematik. Wahyuni (2012) mengungkapkan bahwa pentingnya representasi matematik berupa numerik dan simbol bagi siswa dalam memahami konsep. Sebuah konsep fisika dapat dijelaskan dengan persamaan matematis (Murtono *et al.*, 2014). Kemampuan representasi matematik merupakan proses berpikir kualitatif dalam menyelesaikan persoalan kuantitatif (Waldrup & Prain., 2006). Yusup (2009) menyatakan bahwa representasi matematik paling sedikit mengalami kesalahan. Representasi matematik merupakan pelambangan atau penyimbolan dan pemodelan dari konsep fisika dan hubungan di antaranya yang termuat dalam suatu konfigurasi, konstruksi, atau situasi masalah tertentu yang ditampilkan siswa dalam bentuk simbolik sebagai upaya memperoleh kejelasan makna, menunjukkan pemahamannya, atau mencari solusi dari masalah yang dihadapinya. Cakupan kemampuan representasi matematik berupa numerik dan simbol digunakan pada persamaan matematik dan sebagai simbol mengenai suatu label seperti F untuk gaya dan lain-lain. Simbol juga digunakan untuk menunjukkan satuan seperti kilometer (km), kilogram (kg) dan lain-lain (Gilbert, 2010).

Kajian dalam fisika sangat beragam, salah satunya persoalan pada perkuliahan listrik magnet. Berdasarkan keadaan di lapangan, listrik magnet dianggap sebagai pelajaran yang sulit. Hasil penelitian Demirci & Cirkinoglu (2004) dan Narjaikaew *et al* (2006) menyatakan mahasiswa kesulitan mahasiswa dalam memahami topik listrik magnet. Maka itu pada perkuliahan listrik magnet diperoleh informasi bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami topik listrik magnet diantaranya kesulitan dalam menempatkan persamaan matematis dan penyelesaiannya dalam perhitungan matematis. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Tuminaro & Redish (2003) mengidentifikasi kendala penerapan matematika ke dalam fisika bersumber dari kurangnya keterampilan mahasiswa menggunakan matematika, atau mahasiswa memiliki pengetahuan matematika tetapi tidak mampu menerapkan secara tepat. Cui *et al* (2006) menemukan adanya kendala yang dihadapi mahasiswa ketika menerapkan kalkulus ke dalam persoalan medan. Keadaan ini terjadi karena mahasiswa kurang memahami konsep fisika dalam bentuk representasi matematik. Mahasiswa cenderung menyelesaikan persoalan matematis tanpa melakukan deskripsi konsep dan prinsip dasar fisiknya.

Oleh karena itu pada perkuliahan listrik magnet, kemampuan representasi matematik yang dimiliki mahasiswa mempunyai peranan sangat penting dalam memahami fenomena listrik magnet. Berdasarkan paparan tersebut adanya peranan penting kemampuan representasi matematik dalam pemecahan masalah fisika pada perkuliahan listrik magnet. Hal ini disebabkan mata kuliah listrik magnet dipandang sulit oleh mahasiswa karena diperlukan kemampuan representasi matematik dalam pemecahan masalah listrik magnet. Oleh karena itu dibutuhkan kajian mendalam mengenai kemampuan representasi matematik mahasiswa dalam pemecahan masalah pada perkuliahan listrik magnet.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskripsi kualitatif. Penelitian kualitatif merupakan penelitian yang berlandaskan pada paham naturalistik (Sugiyono, 2010). Penelitian kualitatif mengungkapkan sebuah fenomena yang terjadi serta data yang dikumpulkan bersifat kualitatif. Subjek penelitian ini mahasiswa semester IV Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Semarang

(UNNES). Teknik pengumpulan data yaitu tes tertulis, mahasiswa diberikan tes kemampuan representasi matematik sebanyak 4 soal uraian pada materi garis medan dan hukum Gauss yang telah diajarkan sebelumnya pada mata kuliah listrik magnet. Langkah-langkah penyelesaian mahasiswa dianalisis berdasarkan rubrik pemberian skor kemampuan representasi matematik. Selanjutnya hasil skor nilai kemampuan representasi matematik mahasiswa dikategorikan ke dalam tiga kategori yaitu tinggi, sedang dan rendah. Setiap kategori dideskripsikan kemampuan representasi matematik dalam pemecahan masalah listrik magnet. Mahasiswa yang dikategorikan tinggi diberi kode R11, kategori sedang diberi kode R8 dan kategori rendah diberi kode R9 sebagai responden.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengkategorian kemampuan representasi matematik dalam pemecahan masalah fisika pada perkuliahan listrik magnet disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Pengkategorian Kemampuan Representasi Matematik

Nilai yang Diperoleh	Kategori	Banyak Mahasiswa	Persentase
Nilai ≥ 42	Tinggi	3	9%
$30 \leq$ Nilai < 42	Sedang	24	75%
Nilai < 30	Rendah	5	16%

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa kemampuan representasi matematik dalam memecahkan masalah fisika pada perkuliahan listrik magnet sebagian besar berada pada kategori sedang dengan jumlah mahasiswa paling banyak yaitu sebesar 75%, selanjutnya kategori rendah yaitu sebesar 16% dan kategori tinggi dengan jumlah mahasiswa paling sedikit yaitu sebesar 9%. Pengkategorian ini berdasarkan rubrik penskoran kemampuan representasi matematik dalam memecahkan masalah listrik magnet pada materi garis medan dan hukum Gauss. Berikut rubrik pemberian skor kemampuan representasi matematik dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rubrik Pemberian Skor Kemampuan Representasi Matematik

No.SoaI	Aspek yang Diamati	Keterangan	Skor	
1.	Membuat simbol-simbol			
		- Menuliskan simbol-simbol yang diketahui	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran diketahui.	0
		Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang diketahui tepat dan benar sesuai soal.	1	
		Menuliskan simbol besaran diketahui dengan tepat dan benar sesuai soal.	2	
	- Menuliskan simbol-simbol yang ditanya	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran ditanya.	0	
		Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang ditanya tepat dan benar sesuai soal.	1	
		Menuliskan simbol besaran ditanya dengan tepat dan benar sesuai soal	2	
	Menuliskan rumus			
	- Menuliskan hukum Gauss bentuk differensial	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan hukum Gauss bentuk differensial	0	
		Salah menuliskan hukum Gauss bentuk differensial.	1	
		Hanya sebagian menuliskan hukum Gauss bentuk differensial dengan tepat dan benar.	2	
		Menuliskan hukum Gauss bentuk differensial dengan tepat dan benar.	3	
	- Menuliskan divergensi pada sistem koordinat	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan divergensi pada sistem koordinat	0	
		Salah menuliskan divergensi pada sistem koordinat	1	
		Hanya sebagian menuliskan divergensi pada sistem koordinat	2	
		Menuliskan divergensi pada sistem koordinat dengan tepat dan benar.	3	
- Menuliskan distribusi rapat muatan	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan distribusi rapat muatan	0		
	Tidak menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar.	1		
	Hanya sebagian menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar.	2		
	Menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar	3		
- Menuliskan sistem	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan sistem koordinat	0		

	koordinat	Salah menuliskan sistem koordinat	1
		Hanya sebagian menuliskan sistem koordinat	2
		Menuliskan sistem koordinat dengan tepat dan benar.	3
Melakukan perhitungan			
Tidak ada jawaban, jika terdapat jawaban hanya memperlihatkan ketidakpahaman dan penjelasan yang diberikan tidak berarti apa-apa.			0
Salah melakukan perhitungan: jawaban ditulis tidak terperinci sesuai dengan kunci jawaban.			1
Hanya sebagian jawaban ditulis terperinci sesuai kunci jawaban.			2
Jawaban ditulis secara terperinci .sesuai kunci jawaban			3

No. Soal	Aspek yang Diamati	Keterangan	Skor	
2	Membuat simbol-simbol			
		- Menuliskan simbol-simbol yang diketahui dan ditanya	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran diketahui.	0
			Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang diketahui tepat dan benar sesuai soal.	1
			Menuliskan simbol besaran diketahui dengan tepat dan benar sesuai soal.	2
	- Menuliskan simbol-simbol yang ditanya	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran ditanya.	0	
		Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang ditanya tepat dan benar sesuai soal.	1	
		Menuliskan simbol besaran ditanya dengan tepat dan benar sesuai soal	2	
	Menuliskan rumus			
	- Menuliskan hukum Gauss bentuk integral	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan hukum Gauss bentuk integral	0	
		Salah menuliskan hukum Gauss bentuk integral.	1	
		Hanya sebagian menuliskan hukum Gauss bentuk integral dengan tepat dan benar.	2	
		Menuliskan hukum Gauss bentuk integral dengan tepat dan benar.	3	
	- Menuliskan sistem koordinat	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan sistem koordinat	0	
		Salah menuliskan sistem koordinat	1	
		Hanya sebagian menuliskan sistem koordinat	2	
		Menuliskan sistem koordinat dengan tepat dan benar.	3	
	- Menuliskan distribusi rapat muatan	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan distribusi rapat muatan	0	
		Tidak menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar.	1	
		Hanya sebagian menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar.	2	
		Menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar	3	
	Melakukan perhitungan			
	Tidak ada jawaban, jika terdapat jawaban hanya memperlihatkan ketidakpahaman dan penjelasan yang diberikan tidak berarti apa-apa.			0
	Salah melakukan perhitungan: jawaban ditulis tidak terperinci sesuai dengan kunci jawaban.			1
Hanya sebagian jawaban ditulis terperinci sesuai kunci jawaban.			2	
Jawaban ditulis secara terperinci .sesuai kunci jawaban			3	

No. Soal	Aspek yang Diamati	Keterangan	Skor	
3.	Membuat simbol-simbol			
		- Menuliskan simbol-simbol yang diketahui dan ditanya	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran diketahui.	0
			Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang diketahui tepat dan benar sesuai soal.	1
			Menuliskan simbol besaran diketahui dengan tepat dan benar sesuai soal.	2
	- Menuliskan simbol-simbol yang ditanya	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran ditanya.	0	
		Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang ditanya tepat dan benar sesuai soal.	1	
		Menuliskan simbol besaran ditanya dengan tepat dan benar sesuai soal	2	
	Menuliskan rumus			
	- Menuliskan hukum Gauss bentuk integral	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan hukum Gauss bentuk integral	0	
		Salah menuliskan hukum Gauss bentuk integral.	1	
		Hanya sebagian menuliskan hukum Gauss bentuk integral dengan tepat dan benar.	2	
		Menuliskan hukum Gauss bentuk integral dengan tepat dan benar.	3	

-	Menuliskan sistem koordinat	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan sistem koordinat	0
		Salah menuliskan sistem koordinat	1
		Hanya sebagian menuliskan sistem koordinat	2
		Menuliskan sistem koordinat dengan tepat dan benar.	3
-	Menuliskan distribusi rapat muatan	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan distribusi rapat muatan	0
		Tidak menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar.	1
		Hanya sebagian menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar.	2
		Menuliskan distribusi rapat muatan dengan tepat dan benar	3
Melakukan perhitungan			
Tidak ada jawaban, jika terdapat jawaban hanya memperlihatkan ketidakpahaman dan penjelasan yang diberikan tidak berarti apa-apa.			0
Salah melakukan perhitungan: jawaban ditulis tidak terperinci sesuai dengan kunci jawaban.			1
Hanya sebagian jawaban ditulis terperinci sesuai kunci jawaban.			2
Jawaban ditulis secara terperinci .sesuai kunci jawaban			3

No.Soa	Aspek yang Diamati	Keterangan	Skor	
4.	Membuat simbol-simbol			
		- Menuliskan simbol-simbol yang diketahui dan ditanya	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran diketahui.	0
			Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang diketahui tepat dan benar sesuai soal.	1
			Menuliskan simbol besaran diketahui dengan tepat dan benar sesuai soal.	2
	-	Menuliskan simbol-simbol yang ditanya	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan simbol besaran ditanya.	0
			Hanya sebagian menuliskan simbol besaran yang ditanya tepat dan benar sesuai soal.	1
			Menuliskan simbol besaran ditanya dengan tepat dan benar sesuai soal	2
	Menuliskan rumus			
	-	Menuliskan rumus medan konservatif	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan rumus medan konservatif	0
			Salah menuliskan rumus medan konservatif	1
			Hanya sebagian menuliskan rumus medan konservatif dengan tepat dan benar.	2
			Menuliskan rumus medan konservatif dengan tepat dan benar.	3
	-	Menuliskan curl pada sistem koordinat	Tidak ada sama sekali (kosong) menuliskan curl pada sistem koordinat	0
			Salah menuliskan curl pada sistem koordinat	1
			Hanya sebagian menuliskan curl pada sistem koordinat	2
			Menuliskan curl pada sistem koordinat dengan tepat dan benar.	3
	Melakukan perhitungan			
	Tidak ada jawaban, jika terdapat jawaban hanya memperlihatkan ketidakpahaman dan penjelasan yang diberikan tidak berarti apa-apa.			0
	Salah melakukan perhitungan: jawaban ditulis tidak terperinci sesuai dengan kunci jawaban.			1
	Hanya sebagian jawaban ditulis terperinci sesuai kunci jawaban.			2
Jawaban ditulis secara terperinci .sesuai kunci jawaban			3	

Proses berpikir mahasiswa menggunakan representasi matematik dalam menyelesaikan masalah listrik magnet dapat diukur dengan langkah-langkah hasil pekerjaannya. Selanjutnya deskripsi langkah-langkah hasil pekerjaan untuk setiap kategori.

1. Mahasiswa dengan Kemampuan Representasi Matematik Kategori Tinggi

Soal nomor 1 terkait pengandaian suatu medan listrik dalam koordinat bola, mahasiswa diminta untuk menghitung rapat muatan ρ dan muatan total Q . Kemampuan representasi matematik pada kategori tinggi R11, langkah-langkah hasil pekerjaannya menuliskan simbol yang diketahui yaitu medan listrik dalam koordinat bola : $\vec{E} = kr^3\hat{r}$ dan rapat muatan ρ sedangkan tidak menuliskan simbol muatan total tetapi menuliskan dalam bentuk teks. Pada tahap menuliskan persamaan, terlebih dahulu R11 menggambarkan konten masalah dalam soal selanjutnya mencari rapat muatan ρ , R11 memiliki kesalahan dalam menuliskan dan menggunakan persamaan yang benar dan tepat. Persamaan yang digunakan menggunakan hukum Gauss dalam bentuk integral seharusnya menggunakan hukum Gauss dalam bentuk diferensial sehingga pada tahap selanjutnya melakukan perhitungan terjadi kesalahan dalam menemukan jawaban yang sesuai dengan kunci jawaban. Hal ini berarti R11 belum terlalu memahami pokok masalah dalam soal sehingga belum tepat menggunakan persamaan. Muatan total Q dihitung setelah mengetahui rapat muatan ρ , R11 menuliskan persamaan yang tepat yaitu $Q = \int \rho d\tau$, dan mencari besar $d\tau$ yang merupakan sistem koordinat bola untuk volume dan diperoleh hasilnya.

Langkah selanjutnya disubstitusikan besaran dalam persamaan dan melakukan perhitungan karena nilai ρ yang salah maka hasil yang diperoleh salah tidak sesuai dengan kunci jawaban. Pada kategori tinggi R11, mengerjakan soal secara terperinci sesuai dengan perintah soal dan bekerja dengan baik sesuai dengan waktu pengerjaan soal yang telah ditentukan. Langkah-langkah hasil pekerjaan R11 untuk soal nomor 1 dapat dilihat pada Gambar 1.

Diketahui: $E = k r^3 \hat{r}$, dan dalam koordinat bola, dan masalah menggunakan.
 Ditanya: a) Rapat muatan (ρ).
 b) Muatan total di dalam bola bagian-jari R dari titik pusat.

jawab: a. Bila diasumsikan bola tersebut adalah bola pejal isolator.

$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon_0} Q_c$
 $\int E da = \frac{1}{\epsilon_0} Q_c$
 $E \int da = \frac{1}{\epsilon_0} Q_c$

$Q_c = \int \rho \cdot dV = \int \rho \cdot (r^2 \sin\theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\phi)$
 $= \rho \int_0^R r^2 \cdot dr \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$
 $= \rho \left(\frac{1}{3} r^3 \right)_0^R (2) (2\pi)$
 $= \rho \cdot \frac{1}{3} r^3 (2) (2\pi)$
 $= \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$

$E (4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$
 $[k r^3] [4\pi r^2] = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$
 $\rho = \frac{[k r^3] [4\pi r^2]}{\frac{4}{3} \pi r^3} = 3 \epsilon_0 k r^3$

b. Muatan total di dalam bola (bola pejal isolator) bagian-jari R .
 $Q = \int \rho \cdot dV$
 $Q = \int (3 \epsilon_0 k r^3) (r^2 \sin\theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\phi) = \int_0^R (3 \epsilon_0 k r^3) \cdot r^2 \cdot dr \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$
 $= 3 \epsilon_0 k \int_0^R r^5 \cdot dr \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta \int_0^{2\pi} d\phi = 3 \epsilon_0 k \left[\frac{1}{6} r^6 \right]_0^R (2) (2\pi)$
 $= 3 \epsilon_0 k \left[\frac{1}{6} R^6 \right] 4\pi = 12 \pi \epsilon_0 k R^6$

Gambar 1. Hasil Pekerjaan untuk Soal Nomor 1 pada Kategori Tinggi

Kemampuan representasi matematik pada kategori tinggi R11 dari langkah-langkah hasil pekerjaannya pada Gambar 1 menunjukkan bahwa cukup mampu memahami masalah tetapi tidak dapat menggunakan hukum Gauss bentuk diferensial dalam menyelesaikan permasalahan rapat muatan secara benar dan tepat. Mencari muatan total, responden dapat menuliskan formula dengan benar dan mengerti hubungan antara muatan yang dicakupi dan sistem koordinat bola untuk luasan dan volume sehingga dapat menentukan kuantitasnya secara benar. Jawaban yang diperoleh salah untuk rapat muatan dan muatan total disebabkan konsep awal yang salah dalam menuliskan persamaan dan mensubstitusikan nilai besaran yang salah ke persamaan.

Soal nomor 2 terkait sebuah silinder yang diberi muatan dengan jarak arah radial dari sumbu silinder dan mahasiswa diminta untuk menghitung medan listrik di luar silinder. Cara penyelesaiannya yaitu menuliskan simbol besaran yang diketahui dan ditanya dengan tepat. R11 menggambarkan masalah sesuai soal sebelum melanjutkan ke tahap penyelesaian berikutnya. Tahap selanjutnya menuliskan persamaan, R11 menuliskan persamaan hukum Gauss bentuk integral sesuai dengan konten soal tetapi penulisan simbol muatan yang dicakup ditulis " q_c " selanjutnya mencari nilai dari muatan yang dicakup dengan formula $Q_c = \int \rho \, d\tau$, dan mencari besar $d\tau$ yang merupakan sistem koordinat silinder untuk volume dan mencari $d\vec{a}$ yang merupakan sistem koordinat silinder untuk luas selanjutnya disubstitusikan besaran tersebut kedalam persamaan dan melakukan perhitungan. Tahap ini R11 mengerjakannya tidak terperinci dan langsung pada menemukan jawaban akhir dengan benar dan tepat. Tahap melakukan perhitungan proses penyelesaiannya terperinci dan berakhir dengan jawaban akhir yang benar dan tepat sesuai dengan kunci jawaban. Hasil pekerjaan R11 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal 2 dapat dilihat pada Gambar 2.

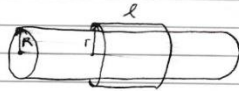
2. Sebuah silinder sangat panjang

berjari-jari R .

$$\rho = k \cdot r.$$

Tentukan: \vec{E} di luar silinder ... ?

Jawab =



E ketika $r > R$:

Berlaku =

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon_0} q_c$$

$$\rightarrow q_c = \int \rho \cdot d\tau = \int (k \cdot r) (r \cdot dr \cdot d\phi \cdot dz) \cdot l$$

$$= k \int_0^R r^2 \cdot dr \cdot \int_0^{2\pi} d\phi \cdot \int_0^l dz$$

$$= k \left[\frac{1}{3} r^3 \right]_0^R \cdot (2\pi) \cdot (l)$$

$$= \frac{2\pi k R^3 l}{3}$$

$$E (2\pi r l) = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{2}{3} \pi k R^3 l$$

$$E = \frac{k R^3}{3 \epsilon_0} \cdot \eta \quad \text{atau} \quad \vec{E} = \frac{k \cdot R^3}{3 \epsilon_0} \hat{r}$$

Gambar 2. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 2 pada Kategori Tinggi

Cara penyelesaian pada Gambar 2 menunjukkan bahwa responden memahami soal dengan baik sehingga proses penyelesaiannya dalam menemukan jawaban akhir yang benar. Hal lain ditemukan responden kurang memahami konsep fisika dalam memecahkan masalah listrik magnet. Ini terlihat dari hasil pekerjaan responden dalam menuliskan simbol muatan yang dicakupi yaitu " q_c " dan menguraikan simbol tanda vektor dalam persamaan hukum Gauss bentuk integral.

Soal nomor 3 terkait sebuah bola isolator dengan batas jarak tertentu yang membawa suatu muatan total dan mahasiswa diminta untuk menghitung medan listrik pada suatu titik $r > b$, medan listrik yang berada pada $a < r < b$ dan medan listrik pada suatu titik $r < a$. Langkah awal penyelesaiannya R11 membuat simbol besaran yang diketahui dan ditanya selanjutnya masalah di soal digambarkan. Langkah berikutnya menuliskan persamaan hukum Gauss $\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{q_c}{\epsilon_0}$ tetapi terlebih dahulu mencari Q_c dengan mensubstitusikan sistem koordinat bola untuk volume $d\tau$. Penulisan batas-batas pada integral dalam sistem koordinat bola untuk volume dengan benar dan tepat. Pada tahap ini R11 konsisten dengan penulisan muatan yang dicakup q_c . Pada tahap melakukan perhitungan disubstitusikan luasan bola pada sistem koordinat bola dan Q_c untuk memperoleh medan listrik yang ditanyakan. Perhitungan pada pekerjaan R11 menyelesaikannya secara terperinci dan jawaban akhirnya benar sesuai dengan kunci jawaban. Langkah-langkah hasil pekerjaan R11 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal 3 ditampilkan pada Gambar 3.

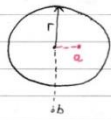
3. Sebuah bola pejal dielektrik (isolator)

muatan q pada $a < r < b$

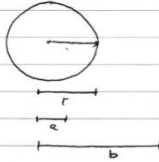
$$\rho = \frac{k}{r^2}$$

Tentukan:

Gambar bola = misalkan bola berjari-jari r .

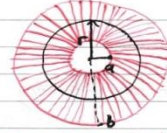


lebih rinci:



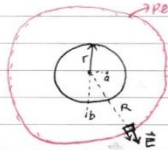
muatan q pada $a < r < b$.

Gambar distribusi muatannya:



a. \vec{E} pada $r > b$. ($r > b \approx R > b$). ($R = r'$).

daerah yg diami adalah daerah distribusi muatan q .



Permukaan Gauss:

$$\text{Berlaku: } \oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon_0} q_c$$

$$\vec{E} \text{ sejajar } d\vec{a}, \vec{E} \cdot d\vec{a} = E da$$

$$\oint E da = \frac{1}{\epsilon_0} q_c$$

$$E \oint da = \frac{1}{\epsilon_0} q_c$$

$$\rightarrow q_c = q = \int P \cdot dV = \int (k \cdot r^{-2}) \cdot (r^2 \cdot \sin\theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\phi)$$

$$q = k \int_a^b r^{-2} dr \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$$

$$q = k [r]_a^b (2) (2\pi)$$

$$q = k (b-a) 4\pi$$

$$q = 4\pi k (b-a)$$

$$E \cdot (4\pi R^2) = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot q$$

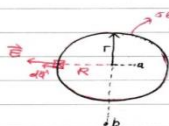
$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{R^2}$$

atau ingat: $q = 4\pi k (b-a)$

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{4\pi k (b-a)}{R^2}$$

$$E = \frac{k (b-a)}{\epsilon_0 R^2} \quad \text{atau} \quad \vec{E} = \frac{k \cdot (b-a)}{\epsilon_0 R^2} \hat{R}$$

b. \vec{E} pada $a < r < b$. (ketika $R = r$).



sebagai permukaan Gauss:

Berlaku:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon_0} q_c$$

$$\vec{E} \text{ sejajar } d\vec{a}, \vec{E} \cdot d\vec{a} = E da$$

$$\oint E da = \frac{1}{\epsilon_0} q_c$$

$$E \oint da = \frac{1}{\epsilon_0} q_c$$

$$\rightarrow q_c = \int P \cdot dV = \int (k \cdot r^{-2}) \cdot (r^2 \cdot \sin\theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\phi)$$

$$= k \int_a^R r^{-2} dr \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$$

$$= k [r]_a^R (2) (2\pi)$$

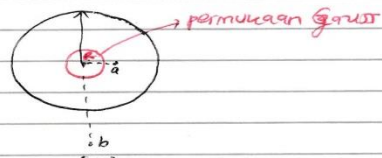
$$= k \cdot (R-a) (4\pi)$$

$$= 4\pi k (R-a)$$

$$E (4\pi R^2) = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot 4\pi k (R-a)$$

$$E = \frac{4\pi k (R-a)}{\epsilon_0 4\pi R^2} = \frac{k (R-a)}{\epsilon_0 R^2} \quad \text{atau} \quad \vec{E} = \frac{k (R-a)}{\epsilon_0 R^2} \hat{R}$$

c. \vec{E} pada $r < a$.



Berlaku: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot q_c$
 \vec{E} sejajar $d\vec{a}$, $\vec{E} \cdot d\vec{a} = E da$
 $\oint E da = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot q_c$
 $E \oint da = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot q_c$
 $E = 0$, karena muatan q hanya pada $a < r < b$.

Gambar 3. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 3 pada Kategori Tinggi

Langkah-langkah penyelesaian pada Gambar 3 menunjukkan bahwa responden memahami soal dengan memiliki pengetahuan awal yang baik sehingga dapat membuat simbol besaran yang diketahui dan ditanya. Responden kurang memahami konsep, hal ini terlihat dalam menuliskan persamaan yang benar sesuai konten soal tetapi belum tepat dalam menuliskan simbol-simbol dan tidak memperhatikan tanda vektor dalam menguraikan persamaan. Tahap melakukan perhitungan menggunakan pengetahuan matematika yang baik dengan mengetahui hubungan antar konsep dan mampu menghitung besarnya kuantitas fisika dalam proses penyelesaian. Jawaban yang diperoleh benar disebabkan konsep awal yang benar dalam menuliskan persamaan dan mensubstitusikan nilai besaran yang benar ke dalam persamaan. Soal nomor 4 terkait suatu medan vektor dengan menggunakan koordinat bola dan mahasiswa diminta untuk menunjukkan apakah medan vektor tersebut medan konservatif. Langkah awal penyelesaian dengan membuat simbol-simbol yang diketahui dan ditanya. Selanjutnya menuliskan persamaan medan konservatif kemudian dilanjutkan dengan tahap melakukan perhitungan dengan menggunakan matrix dengan menuliskan variabel-variabel pada curl dalam sistem koordinat yang sebagian masih kurang. Pada tahap ini operasi perhitungan sangat terperinci sampai pada tahap akhir menemukan jawaban yang sesuai dengan kunci jawaban. Hasil pekerjaan R11 untuk soal nomor 4 disajikan pada Gambar 4.

4. Sistem koordinat bola (r, θ, ϕ)
 $\vec{E} = \frac{30}{r^3} (\cos\theta \hat{r} + 0,15 \sin\theta \hat{\theta})$

Tunjukkan: \vec{E} bersifat sebagai medan konservatif.
 Jawab: Syarat medan bersifat konservatif adalah $\nabla \times \vec{E} = 0$.
 Jadi, $\vec{E} = \frac{30}{r^3} \cos\theta \hat{r} + \frac{15}{r^3} \sin\theta \hat{\theta} + 0 \hat{\phi}$.

$\nabla \times \vec{E} = 0$.

\hat{r}	$\hat{\theta}$	$\hat{\phi}$
$\frac{\partial}{\partial r}$	$\frac{\partial}{\partial \theta}$	$\frac{\partial}{\partial \phi}$
$\frac{30 \cos\theta}{r^3}$	$\frac{15 \sin\theta}{r^3}$	0

$= 0$.

$\hat{r} \left(\frac{\partial}{\partial \theta} 0 - \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{15 \sin\theta}{r^3} \right) \right) + \hat{\theta} \left(\frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{30 \cos\theta}{r^3} \right) - r \frac{\partial}{\partial r} 0 \right) + \hat{\phi} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{15 \sin\theta}{r^3} \right) - \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{30 \cos\theta}{r^3} \right) \right)$
 $= 0$
 $\hat{r} (0 - 0) + \hat{\theta} (0 - 0) + \hat{\phi} \left(\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{15 \sin\theta}{r^2} \right) - \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{30 \cos\theta}{r^3} \right) \right)$
 $= 0$
 $\hat{r} (0) + \hat{\theta} (0) + \hat{\phi} \left(-\frac{30 \sin\theta}{r^3} + \frac{30 \sin\theta}{r^3} \right) = 0$
 $\hat{r} (0) + \hat{\theta} (0) + \hat{\phi} (0) = 0$
 $0 = 0$, jadi medan \vec{E} bersifat sebagai medan konservatif.

Gambar 4. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 4 pada Kategori Tinggi

Langkah-langkah penyelesaian pada Gambar 4 menunjukkan bahwa mahasiswa memahami masalah dengan pengetahuan yang dimiliki sehingga dapat membuat simbol-simbol yang diketahui dan ditanya. Responden memiliki pengetahuan awal yang mendukung sehingga dapat menuliskan persamaan medan konservatif. Tahap melakukan perhitungan menggunakan pengetahuan matematika yang baik tetapi kurang mengetahui hubungan antar variabel terlihat dari menuliskan variabel-variabel pada curl

dalam sistem koordinat yang sebagian masih kurang dalam proses penyelesaian. Jawaban yang diperoleh benar disebabkan konsep awal yang benar dalam menuliskan persamaan.

1. Mahasiswa dengan Kemampuan Representasi Matematik Kategori Sedang

Soal nomor 1 terkait pengandaian suatu medan listrik dalam koordinat bola, mahasiswa diminta untuk menghitung rapat muatan ρ dan muatan total Q . Kemampuan representasi matematik pada kategori sedang R8, langkah-langkah hasil pekerjaannya menuliskan simbol besaran yang diketahui dan menuliskan simbol besaran yang ditanya selanjutnya pada tahap menuliskan persamaan hukum Gauss bentuk integral untuk menghitung rapat muatan ρ . Ini terlihat R8 memiliki kesalahan seharusnya menggunakan hukum Gauss dalam bentuk diferensial bukan menuliskan hukum Gauss dalam bentuk integral. Selanjutnya dilakukan perhitungan yang berujung dengan perolehan jawaban akhir yang salah. Muatan total Q dihitung setelah dihitung rapat muatan ρ selanjutnya menuliskan persamaan. R8 menggunakan persamaan distribusi rapat muatan maka dihitung terlebih dahulu dr yang merupakan sistem koordinat bola untuk volume dan mengguraikan persamaannya kemudian mensubstitusikan besaran kedalam persamaan, nilai ρ yang diperoleh salah maka dalam melakukan perhitungan diperoleh hasil salah tidak sesuai kunci jawaban. Langkah-langkah hasil pekerjaan R8 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal nomor 1 ditampilkan pada Gambar 5.

1.) misalkan $\vec{E} = kr^3 \hat{r}$, $k = \text{konstanta}$
 a. ρ
 b. q_{total}
 jawab :
 a.) $\vec{E} = kr^3 \hat{r}$ anggap muatan ρ itu = kr^2 , jadi
 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$
 $E r^2 \int d\phi \int \sin\theta d\theta = \frac{\rho}{\epsilon_0} \int dr$
 $E r^2 \cdot 4\pi r^2 = \frac{k}{\epsilon_0} \int_0^r r^2 r^2 dr \int_0^\pi \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$
 $(4\pi r^2) E = \frac{k}{\epsilon_0} \frac{1}{5} r^5 4\pi$
 $r^2 E = \frac{k r^5}{5\epsilon_0}$
 $E = \frac{k r^3 \hat{r}}{5\epsilon_0}$ benar, jadi $\rho = kr^2$
 b.) muatan total
 $dq_{\text{tot}} = \rho dV = \rho r^2 dr \int \sin\theta d\theta \int d\phi$
 $q = \int_0^R \int_0^\pi \int_0^{2\pi} k r^2 r^2 dr \sin\theta d\theta d\phi$
 $q = \frac{1}{5} r^5 4\pi k$

Gambar 5. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 1 pada Kategori Sedang

Langkah-langkah hasil pekerjaannya pada Gambar 5 menunjukkan bahwa mampu memahami masalah tetapi tidak dapat menggunakan hukum Gauss bentuk diferensial dalam menyelesaikan permasalahan rapat muatan secara benar dan tepat. Menghitung muatan total, responden dapat menuliskan formula yang benar dan mengerti hubungan antara muatan yang dicakupi dan sistem koordinat bola untuk luasan dan volume sehingga menentukan kuantitasnya secara benar. Jawaban yang diperoleh salah untuk rapat muatan dan muatan total disebabkan konsep awal yang salah dalam menuliskan persamaan dan mensubstitusikan nilai besaran yang salah ke persamaan.

Soal nomor 2 terkait sebuah silinder yang diberi muatan dengan jarak arah radial dari sumbu silinder dan mahasiswa diminta untuk menghitung medan listrik di luar silinder. Langkah-langkah penyelesaiannya dimulai dengan menggambarkan masalah yang ada pada soal dilanjutkan menuliskan besaran yang diketahui. Tahap selanjutnya menuliskan persamaan hukum Gauss bentuk integral sesuai dengan konten soal tetapi kurang tepat karena menuliskan simbol vektor " \vec{E} ", serta menuliskan simbol " ϵ " dan menuliskan simbol muatan yang dicakup " q_c ". Pada tahap perhitungan terlebih dahulu dicari nilai besaran yang muatan yang dicakup dan sistem koordinat silinder untuk luasan. Muatan yang dicakup dihitung dengan $= \int \rho d\tau$, dan mencari besar $d\tau$ yang merupakan sistem koordinat silinder untuk volume. Maka melakukan perhitungan bisa dikatakan cukup terperinci dan berakhir dengan jawaban akhir yang benar tetapi belum tepat sesuai dengan kunci jawaban. Langkah-langkah hasil pekerjaan R8 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal nomor 2 ditampilkan pada Gambar 6.

2

Medan magnet diluar ninder.
 $r = kr$
 Hk. Gauss.
 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E \int da \rightarrow \vec{E} \cdot d\vec{a} = |\vec{E}| |da| \cos 0^\circ = E da$

$\oint E da = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E \int da = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E (2\pi r l) = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E (2\pi r l) = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{2}{3} \pi k R^3 \rho \right)$

$E = \frac{1}{3\epsilon} \frac{k R^3}{r}$

$q_{enc} = \int \rho d\tau$
 $q_{enc} = \int k r \cdot r dr d\phi dz$
 $q_{enc} = k \int_0^R r^2 dr \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^l dz$
 $q_{enc} = k \cdot \frac{1}{3} R^3 \cdot 2\pi \cdot l$
 $q_{enc} = \frac{2\pi k R^3 l}{3}$

Gambar 6. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 2 pada Kategori Sedang

Langkah-langkah penyelesaian pada Gambar 6 menunjukkan bahwa mahasiswa cukup memahami soal tetapi pada proses penyelesaian kurang memahami konsep sehingga menuliskan persamaan hukum Gauss bentuk integral yang belum tepat dan tidak memperhatikan tanda vektor dalam menguraikan persamaan hukum Gauss bentuk integral sehingga jawaban akhir yang benar tetapi tidak tepat.

Soal nomor 3 terkait sebuah bola isolator dengan batas jarak tertentu yang membawa suatu muatan total dan mahasiswa diminta untuk menghitung medan listrik pada suatu titik $r > b$, medan listrik yang berada pada $a < r < b$ dan medan listrik pada suatu titik $r < a$. Langkah-langkah penyelesaiannya diawali dengan menggambarkan masalah yang ada pada soal dengan menuliskan simbol yang diketahui dan simbol yang ditanya langsung dilanjutkan ditulis tahap penyelesaian sesuai dengan besaran yang ditanyakan dengan menuliskan persamaan hukum Gauss bentuk integral yang sesuai dengan konsep tetapi belum tepat karena penulisan simbol vektor " \vec{E} " dan " $d\vec{a}$ " serta simbol muatan yang dicakup " q_c " dan juga simbol " ϵ ". Mencari nilai besaran muatan yang dicakup dengan mensubstitusina nilai rapat muatan dan mencari formula untuk sistem koordianat bola untuk volume. Pada bagian ini R8 kesulitan menentukan batas-batas integral dalam sistem koordinat bola dalam suatu volume sehingga hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan kunci jawaban. Tahap akhir melakukan perhitungan dengan mensubstitusikan besaran yang telah dicari kedalam persamaan bisa dikatakan perhitungannya cukup terperinci tetapi jawaban akhirnya tidak sesuai dengan kunci jawaban. Langkah-langkah hasil pekerjaan R8 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal 3 ditampilkan pada Gambar 7.

3

permukaan gauss
 $\rho = \frac{k}{r^2}$

a) $r > b$ maka diluar bola
 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E \int da$ maka $\vec{E} \cdot d\vec{a} = E da \cos 0^\circ$
 $\int_0^b E \int da = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E (4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon} (4\pi k b^3)$
 $E = \frac{1}{\epsilon} \frac{k b^3}{r^2}$

b) $a < r < b$
 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E \int da$ maka $\vec{E} \cdot d\vec{a} = E da \cos 0^\circ$
 $\int E da = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E \int da = \frac{1}{\epsilon} q_{enc}$
 $E (4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon} (4\pi k r^3)$
 $E = \frac{1}{\epsilon} \frac{k}{r}$

$q_{enc} = \int \rho d\tau$
 $= \int \frac{k}{r^2} r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$
 $= k \int_0^r dr \int_0^\pi \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$
 $= k \cdot r \cdot (2) (2\pi)$
 $= 4\pi k r$

e) $r < a$ maka di dalam

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{1}{\epsilon} q_c$$

El $d\vec{a}$ maka $\vec{E} \cdot d\vec{a} = E da \cos 0^\circ$

$$\oint E da = \frac{1}{\epsilon} q_c$$

$$E \oint da = \frac{1}{\epsilon} q_c \rightarrow q_c = 0 \quad (\text{karena tidak mencakup permukaan Gauss})$$

$$\oint E (4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon} \cdot 0$$

$$E = 0$$

Gambar 7. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 3 pada Kategori Sedang

Langkah-langkah penyelesaian pada Gambar 7 menunjukkan bahwa responden memahami masalah dengan pengetahuan awal yang dimiliki sehingga menuliskan simbol yang diketahui dan simbol yang ditanya. Responden kurang memahami konsep, hal ini terlihat menuliskan persamaan yang benar sesuai konten soal tetapi belum tepat dan tidak memperhatikan tanda vektor dalam menguraikan persamaan hukum Gauss bentuk integral. Tahap melakukan perhitungan menggunakan pengetahuan matematika yang baik dengan mengetahui hubungan antar konsep, responden mampu menghitung besarnya kuantitas fisika berdasarkan informasi yang diperoleh dalam proses penyelesaian. Jawaban yang diperoleh salah disebabkan konsep awal yang benar tetapi tidak mampu menentukan kuantitas fisika secara benar dalam menguraikan persamaan.

Soal 4 terkait suatu medan vektor dengan menggunakan koordinat bola dan mahasiswa diminta untuk menunjukkan apakah medan vektor tersebut medan konservatif. Langkah-langkah hasil pekerjaannya menuliskan simbol besaran yang diketahui dengan benar tetapi belum tepat dalam menuliskan simbol vektor " \vec{E} " dilanjutkan dengan melakukan perhitungan dengan mensubstitusikan besaran yang dicari kedalam persamaan dengan bantuan matematika menggunakan matriks. Penulisan simbol vektor medan listrik dan nabla " ∇ " dan " ∇ " belum tepat dan sebagian variabel-variabel untuk curl dalam sistem koordinat bola masih kurang. Proses perhitungan bisa dikatakan cukup terperinci tetapi jawaban akhir tidak sesuai dengan kunci jawaban. Langkah-langkah hasil pekerjaan R8 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal 4 ditampilkan pada Gambar 8.

4) $\vec{E} = \frac{30}{r^2} (\cos \theta \hat{r} + 0.5 \sin \theta \hat{\theta})$

$$= \frac{30 \cos \theta}{r^2} \hat{r} + \frac{15 \sin \theta}{r^2} \hat{\theta}$$

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{r} & \hat{\theta} & \hat{\phi} \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ \frac{30 \cos \theta}{r^2} & \frac{15 \sin \theta}{r^2} & 0 \end{vmatrix}$$

$$= \hat{r} \left(\frac{\partial}{\partial \theta} (0) - \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{15 \sin \theta}{r^2} \right) \right) - \hat{\theta} \left(\frac{\partial}{\partial r} (0) - \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{30 \cos \theta}{r^2} \right) \right) + \hat{\phi} \left(\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{15 \sin \theta}{r^2} \right) - \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{30 \cos \theta}{r^2} \right) \right)$$

$$= \hat{r} (0 - 0) - \hat{\theta} (0 - 0) + \hat{\phi} \left(15 \sin \theta \left(-\frac{3}{r^3} \right) + \frac{30}{r^2} \sin \theta \right)$$

$$= \hat{\phi} \left(-\frac{45 \sin \theta}{r^3} + \frac{30 \sin \theta}{r^2} \right)$$

Gambar 8. Hasil Pekerjaan Soal 4 pada Kategori Sedang

Langkah-langkah hasil pekerjaan Gambar 8 menunjukkan bahwa responden cukup dalam memahami soal sesuai dengan pengetahuan yang dimiliki sehingga dapat menuliskan simbol besaran yang diketahui dengan benar tetapi belum tepat. Responden memiliki pengetahuan awal yang mendukung sehingga dapat menuliskan persamaan medan konservatif. Tahap melakukan perhitungan menggunakan pengetahuan matematika yang baik tetapi kurang mengetahui hubungan antar variabel terlihat dari menuliskan variabel-variabel pada curl dalam sistem koordinat yang sebagian masih kurang dalam proses penyelesaian. Jawaban yang diperoleh salah disebabkan konsep awal yang benar dalam menuliskan persamaan tetapi tidak mampu mengetahui hubungan antar konsep dalam menguraikan persamaan curl pada sistem koordinat.

2. Mahasiswa dengan Kemampuan Representasi Matematik Kategori Rendah

Soal nomor 1 terkait pengandaian suatu medan listrik dalam koordinat bola, mahasiswa diminta untuk menghitung rapat muatan ρ dan muatan total Q . Kemampuan representasi pada kategori rendah R9, langkah-langkah mengerjakan soal menuliskan simbol besaran yang diketahui $\vec{E} = kr^3\hat{r}$ dan ditanya rapat muatan ρ dan muatan total dalam bentuk verbal atau kata-kata selanjutnya menuliskan persamaan distribusi rapat muatan untuk mencari muatan total setelah itu menggunakan persamaan hukum Gauss bentuk integral dalam hal ini R9 salah menggunakan persamaan untuk menghitung rapat muatan sehingga hasil yang diperoleh salah seharusnya yang mencari rapat muatan terlebih dahulu kemudian mensubstitusikan nilai rapat muatan kedalam formula distribusi rapat muatan untuk menghitung muatan total. Hal ini menyebabkan R9 belum bisa menggunakan persamaan yang tepat yang sesuai dengan konten soal. Hasil pekerjaan R9 dalam menyelesaikan soal nomor 1 ditampilkan pada Gambar 9.

Diketahui: $\vec{E} = kr^3\hat{r}$ koordinat bola
 k : konstanta
 R : jari-jari
 Ditanya: a) rapat muatan ρ b) muatan total
 Jawab:

$\oint E \cdot da = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$
 $kr^3 \cdot (4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \frac{4}{3}\pi r^3$
 $kr^5 4\pi = \frac{\rho \pi r^3}{3\epsilon_0}$
 $\rho = \frac{kr^5 4\pi 3\epsilon_0}{\pi r^3}$
 $\rho = 12 k r^2 \epsilon_0$

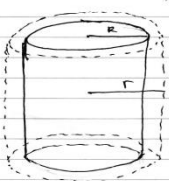
$\rho = \frac{dq}{dV}$
 $dq = \rho dV$
 $q = \int \rho \frac{4}{3}\pi r^3$
 $= \rho \frac{4}{3}\pi r^3$
 $q = \rho \frac{4}{3}\pi r^3$

Gambar 9. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 1 pada Kategori Rendah

Kemampuan representasi pada kategori rendah R9, langkah-langkah mengerjakan pada Gambar 9 menunjukkan bahwa cukup mampu memahami soal tetapi tidak dapat menggunakan hukum Gauss bentuk diferensial dalam menyelesaikan permasalahan rapat muatan secara benar dan tepat. Tahap mencari muatan total, responden dapat menuliskan formula yang benar dan mengerti hubungan antara muatan yang dicakupi dan sistem koordinat bola untuk luasan dan volume sehingga menentukan kuantitasnya secara benar. Responden tidak memami konsep sehingga kebingungan dalam mencari hubungan untuk menghitung antara rapat muatan dan muatan total. Jawaban yang diperoleh salah untuk rapat muatan dan muatan total disebabkan konsep awal yang salah dalam menuliskan persamaan dan mensubstitusikan nilai besaran yang salah ke persamaan.

Soal nomor 2 terkait sebuah silinder yang diberi muatan dengan jarak arah radial dari sumbu silinder dan mahasiswa diminta untuk menghitung medan listrik di luar silinder. Langkah-langkah dari hasil pekerjaan R9 dimulai dari menuliskan simbol besaran yang diketahui dan digambarkan permasalahan yang ada pada soal. Tahap selanjutnya menuliskan persamaan hukum Gauss dalam bentuk integral benar tetapi belum tepat dalam menuliskan vektor "dA" dan simbol muatan yang dicakup "q_{enc}". Salah menggunakan formula untuk mencari muatan yang dicakup dan mencari nilai dari sistem koordinat silinder untuk luasan. Tahap akhir melakukan perhitungan bisa dikatakan tidak terperinci dan jawaban akhir tidak sesuai dengan kunci jawaban. Langkah-langkah hasil pekerjaan R9 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal nomor 2 dapat dilihat pada Gambar 10.

2. Jari-jari silinder R , $\rho = kR$
 $k = \text{konstanta}$, $r = \text{jarak arah radial}$



Ruas kin

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = E \int_0^L \int_0^{2\pi} r \sin\theta \, d\theta \, dz$$

$$= E \int_0^L [r z (-\cos\theta)]_0^{2\pi} dz$$

$$= E \int_0^L 2r z \, dz$$

$$= E \left[r z^2 \right]_0^L$$

$$= E r L^2$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

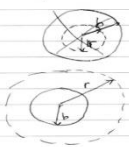
$$\frac{q}{dA} = \frac{\rho A}{\rho dA}$$

Gambar 10. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 2 pada Kategori Rendah

Langkah-langkah dari hasil pekerjaan R9 pada Gambar 10 menunjukkan mahasiswa cukup mampu memahami masalah sesuai tetapi belum memahami konsep sehingga menuliskan persamaan hukum Gauss bentuk integral yang belum tepat. Responden tidak memiliki pengetahuan awal dalam menghitung kuantitas fisika berdasarkan informasi yang diperoleh. Hal ini terlihat dari menggunakan formula yang tidak tepat untuk mencari muatan yang dicakup dan mencari nilai dari sistem koordinat silinder untuk luasan. Tahap melakukan perhitungan menggunakan pengetahuan matematika yang baik tetapi tidak mengetahui hubungan antar konsep dalam proses penyelesaian. Jawaban yang diperoleh salah disebabkan konsep awal yang belum tepat dalam menguraikan persamaan dan mensubstitusikan nilai besaran yang salah ke persamaan.

Soal nomor 3 terkait sebuah bola isolator dengan batas jarak tertentu yang membawa suatu muatan total dan mahasiswa diminta untuk menghitung medan listrik pada suatu titik $r > b$, medan listrik yang berada pada $a < r < b$ dan medan listrik pada suatu titik $r < a$. Cara penyelesaiannya dimulai dengan menuliskan simbol besaran yang diketahui dan menuliskan simbol besaran yang ditanya. Sebelum ke tahap penyelesaian selanjutnya R9 menggambarkan masalah yang ada di soal kemudian menuliskan persamaan hukum Gauss dalam bentuk integral dengan benar tetapi belum tepat dalam menuliskan simbol vektor medan listrik "E" dan vektor luasan permukaan Gauss dicakup "da". Tahap selanjutnya dengan menguraikan persamaan tersebut dan langsung mensubstitusikan besaran kedalam persamaan dan melakukan perhitungan. Tahap ini R9 dalam melakukan perhitungan bisa dikatakan kurang terperinci dan menemukan jawaban akhir yang tidak sesuai dengan kunci jawaban. Langkah-langkah hasil pekerjaan R9 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal 3 ditampilkan pada Gambar 11.

3. a.) E pada $r > b$



$\rho = \frac{Q}{V}$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$


$$\oint \vec{E} \cdot (4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E \int (4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

c.) E pada $r < a$.



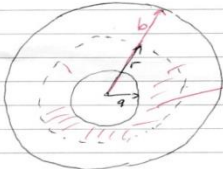
$$\oint E \cdot da = \frac{Qe}{\epsilon_0}$$

$$E \oint 4\pi r^2 = \frac{Qe}{\epsilon_0}$$

karena medan E dalam tidak ada, maka

$$E = 0 //$$

b.) E pada $a < r < b$



$$\oint E \cdot da = \frac{Qe}{\epsilon_0}$$

Gambar 11. Hasil Pekerjaan Soal Nomor 3 pada Kategori Rendah

Cara penyelesaian pada Gambar 11 menunjukkan bahwa responden a memahami masalah dengan pengetahuan awal yang dimiliki sehingga menuliskan simbol yang diketahui dan simbol yang ditanya. Responden kurang memahami konsep, hal ini terlihat menuliskan persamaan yang benar sesuai konten soal tetapi belum tepat. Tahap melakukan perhitungan menggunakan pengetahuan matematika yang baik dengan tidak mengetahui hubungan antar konsep, mahasiswa tidak mampu menghitung besarnya kuantitas fisika berdasarkan informasi yang diperoleh dalam proses penyelesaian. Jawaban yang diperoleh salah disebabkan konsep awal yang benar tetapi tidak mampu menentukan kuantitas fisika secara benar dalam menguraikan persamaan.

Soal 4 terkait suatu medan vektor dengan menggunakan koordinat bola dan mahasiswa diminta untuk menunjukkan apakah medan vektor tersebut medan konservatif. Langkah penyelesaiannya dengan menuliskan persamaan dengan benar sesuai konsep tetapi menuliskan simbol vektor nabla yang belum tepat “ ∇ ” dan tahap melakukan perhitungan dengan mensubstitusikan besaran yang diketahui kedalam persamaan dengan bantuan matematika perkalian dan hanya sebagian menuliskan variabel-variabel pada curl dalam sistem koordinat bola dan bisa dikatakan proses perhitungannya tidak terperinci dan tidak diperoleh jawaban akhir. Hasil pekerjaan R9 dalam memecahkan masalah listrik magnet untuk soal 4 dapat dilihat pada Gambar 12.

$$4. \quad \nabla \times \vec{E} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \hat{r} + \frac{\partial}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial}{\partial \phi} \times \left(\frac{30 (\cos \theta \hat{r} + 0,5 \sin \theta \hat{\theta})}{r^3} \right) = 0$$

Gambar 12. Hasil Pekerjaan Soal 4 pada Kategori Rendah

Langkah penyelesaian soal 4 menunjukkan bahwa responden memiliki pengetahuan awal yang mendukung sehingga dapat menuliskan persamaan medan konservatif. Tahap melakukan perhitungan menggunakan pengetahuan matematika yang baik tetapi kurang mengetahui hubungan antar variabel terlihat dari menuliskan variabel-variabel pada curl dalam sistem koordinat yang sebagian masih kurang dalam proses penyelesaian. Jawaban yang diperoleh salah disebabkan konsep awal yang benar dalam menuliskan persamaan tetapi tidak mampu mengetahui hubungan antar konsep dalam menguraikan persamaan curl pada sistem koordinat.

Hasil penelitian Suseno (2010) menyatakan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan pada perkuliahan listrik magnet dikarenakan konsep yang abstrak dan teoritis berupa matematis. Hasil penelitian Kusumawati *et al* (2015) menemukan bahwa kecenderungan siswa menggunakan representasi, dipengaruhi oleh *multiple intelligences*, kebiasaan dan lingkungan belajar. Hasil lainnya ditemukan pemahaman konsep, pengetahuan awal, dan latihan sangat berpengaruh pada akurasi multirepresentasi diantaranya representasi matematik, diagram, grafik dan verbal.

Keadaan ini terlihat dari kemampuan representasi matematik yang memberikan informasi dalam memahami konsep listrik magnet dengan disesuaikan kemampuan matematika dalam menyelesaikan masalah listrik magnet. Oleh karena itu secara umum pemahaman konsep hukum Gauss perlu pemahaman yang lebih mendalam oleh mahasiswa. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Chasteen *et al* (2012) menyatakan topik-topik dasar dalam listrik magnet seperti hukum Gauss, arus listrik dan potensial listrik memerlukan pemahaman lebih dari mahasiswa.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa deskripsi langkah-langkah hasil pekerjaan mahasiswa dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik representasi matematik dalam memahami konsep listrik magnet. Kemampuan representasi matematik dalam memecahkan masalah fisika pada perkuliahan listrik magnet pada kategori tinggi dengan jumlah paling sedikit yaitu sebesar 9%, selanjutnya kategori sedang dengan jumlah mahasiswa paling banyak yaitu sebesar 75%, dan kategori rendah yaitu sebesar 16%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Dr. Suharto Linuwih, M.Si selaku ketua jurusan Pendidikan Fisika S1, Universitas Negeri Semarang Unnes, karena telah diberikan izin untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Cui, L., Sanjay, N., Rebello, Fletcher, P.R., Bennett, A.G. 2006. Transfer Of Learning From Colledge Calculus To Physics Courses. *Proceedings of the NARST 2006 Annual Meeting* (San Fransisco, CA, United States).
- Dahlan, J. A., & Juandi, D., 2011. Analisis Representasi Matematik Siswa Sekolah Dasar Dalam Penyelesaian Masalah Matematika Kontekstual. *Jurnal Pengajaran MIPA*, Vol. 16, No. 1, hlm. 128-138.
- Demirci, N. & Cirkinoglu, A. 2004. "Ditermining Students' Preconception/Misconceptions in Electricity and Magnetism". *Journal of Turkish science education*. 1, (2), 50- 54.
- Dolin, J. 2001. Representational Forms in Physics. *Makalah Third International Conference of the European Science Education Research Association, August*.
- Gilbert, J.K. 2010. The Role of Visual Representation in the Learning and teaching of science: An Introduction. *Asia-Pasific forum on science learning and teaching*, 11(1),1-19.
- Kohl, P.B. & Noah, D.F. 2005. Student Representational Competence and Self Assessment when Solving Physics Problem. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*. 1, 010104. Diperoleh dari <http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/paper/Reps1e010104.pdf>. (Diunduh 10 November 2016).
- Lindenfeld, P., 2002., Format and Content in Introductory Physics. *American Journal of Physics*. 70, (1), 12.
- Kusumawati, I., Marwoto, P., & Linuwih, S. 2015, September. Implementation multi representation and oral communication skills in Department of Physics Education on Elementary Physics II. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1677, No. 1, p. 040017). AIP Publishing.
- Murtono, M., Setiawan, A., & Rusdiana, D. 2014. Fungsi Representasi dalam Mengakses Penguasaan Konsep Fisika Mahasiswa. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, Vol. 1 No. 2., 80.
- Narjaikaew, P., Emarat, N., Soankwan, C., & Cowie, B. R. O. N. W. E. N., 2006. *Year-1 Thai University Students' Conceptions of Electricity and Megnetism*. Physics Educational Network of Thailand (PENThai) and The Centre for science and Technology Education Research (CSTER).
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Suseno, M. N. 2010. Kendala Penerapan Inkuiri dalam Perkuliahan Listrik-Magnet Di Lptk. *Jurnal Pengajaran MIPA*, 15(2), 95-102.

- Salkind, G.M., 2007. *Mathematical Representations*. George Mason University
- Tuminaro, J & Redish, E.F, 2003. Students' Use of Mathematics in the Context of Physics Problem Solving: A cognitive Model U. of Maryland [Online]. Tersedia di : [http : //www .physics.umd.edu/perg/ papers/redish/ index. Html](http://www.physics.umd.edu/perg/papers/redish/index.html). (20 Desember 2016).
- Chasteen, V.S., Pepper, E.R., Caballero, D.M., Pollock, S. J., & Perkins, K.K.. 2012. Caballero, S. J. Pollock and K.K. Perkins. 2012. Colorado upper-division electrostatics diagnostik: A Conceptual Assessment For The Junior Level. *Physic Education Research*. Doi: 10.1103/PhysRevSTPER.8.020.108.
- Wahyuni, 2012. Peningkatan Kemampuan Representasi Matematis dan Self Esteem Siswa Sekolah Menengah Pertama dengan Metode Menggunakan Model Pembelajaran ARIAS. *Tesis*. PPs UPI. Bandung.
- Waldrip, B & Prain, V. 2006. Learning Junior Secondary Science through Multi Modal Representation. *Electronic Journal of Science Education*.
- Yusup, M. 2009. Multirepresentasi dalam Pembelajaran Fisika. Diperoleh dari <http://eprints.unsri.ac.id/1607/1>. (Diunduh 22 Desember 2016).