

## Pemahaman Konsep Vektor Mahasiswa Calon Guru

**Diana Eka Saputri, Muhammad Ibnu Shodiqin, dan Bakhrul Rizky Kurniawan\***

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5, Malang, 65145, Indonesia.

\*Email: bakhrul.rizky.fmipa@um.ac.id

---

### Abstrak

Penelitian dilakukan untuk mengungkap pemahaman konsep vektor mahasiswa calon guru fisika terkait komponen vektor, penjumlahan vektor, pengurangan vektor, besar vektor, dan arah vektor. Data diperoleh melalui *webtool* kuis interaktif *Quizizz* yang terdiri dari delapan soal pilihan ganda. Penelitian dilakukan terhadap 38 mahasiswa calon guru fisika semester enam S1 Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Malang. Hasil analisis menunjukkan bahwa mahasiswa calon guru fisika Universitas Negeri Malang memahami konsep vektor sebesar 49%. Mahasiswa memiliki pemahaman konsep yang tinggi terkait vektor satuan, penjumlahan, penentuan vektor yang sama besar, pengurangan vektor yang vektor awal dan resultan vektor ditampilkan pada pilihan jawaban. Mahasiswa memiliki pemahaman konsep yang sedang pada komponen vektor, menentukan vektor dalam arah yang sama. Mahasiswa memiliki pemahaman yang rendah pada pengurangan vektor yang tidak menampilkan vektor awalnya, dan penentuan arah vektor.

**Kata Kunci:** calon guru fisika, mahasiswa, pemahaman konsep, *Quizizz*, vektor.

---

### 1. Pendahuluan

Pembelajaran akan menjadi bermakna apabila pasca kegiatan pembelajaran mahasiswa mampu menggunakan pemahamannya untuk menyelesaikan suatu persoalan. Hal tersebut sesuai dengan tujuan utama dari pembelajaran fisika yang mana pembelajaran harus mampu memberikan pemahaman konsep yang baik kepada mahasiswa sehingga konsep yang diterima dapat digunakan untuk memecahkan masalah [1], [2]. Usaha untuk mencapai tujuan utama pembelajaran fisika sering kali terganggu oleh konsepsi mahasiswa yang tidak sesuai dengan konsep ilmiah yang ada, konsepsi ini dibangun mahasiswa sebelum kegiatan pembelajaran [1], [3].

Besaran dalam fisika berdasarkan arahnya terbagi menjadi dua jenis, yaitu besaran skalar dan besaran vektor. Besaran skalar adalah besaran yang mempunyai nilai saja dan tidak memiliki arah. Sedangkan besaran vektor merupakan besaran yang memiliki nilai dan arah [4]. Besaran vektor lebih sulit dipahami oleh mahasiswa karena lebih rumit jika dibandingkan dengan besaran skalar [5].

Vektor merupakan salah satu konsep dasar dalam pembelajaran fisika. Pemahaman konsep vektor sangat krusial bagi mahasiswa fisika dan teknik [6]. Pemahaman konsep vektor yang baik diperlukan guna memudahkan mahasiswa dalam mempelajari topik-topik berikutnya pada pembelajaran fisika [7]. Konsep fisika sebagian besar direpresentasikan menggunakan vektor [8]. Pemahaman konsep yang baik tentang vektor mampu menyumbang pemahaman konsep yang baik pula pada topik-topik fisika yang lain. Konsep utama dalam mekanika Newtonian adalah gaya yang merupakan besaran vektor [9]. Ketepatan mahasiswa dalam menyelesaikan persoalan pada topik mekanika dipengaruhi oleh ketepatan pengoperasian vektor.

Mahasiswa yang memiliki pemahaman yang rendah pada topik vektor akan merasa kesulitan bila dihadapkan pada persoalan yang terkait. Penelitian terdahulu menunjukkan mahasiswa masih kesulitan dalam memahami vektor [10]. Pemahaman yang rendah yang menyebabkan kesulitan pada topik vektor perlu dianalisis guna penyusunan pembelajaran vektor yang menghasilkan pemahaman yang baik pada mahasiswa.

Mengingat pentingnya pemahaman konsep vektor, maka dilakukan penelitian untuk mengungkap pemahaman konsep vektor mahasiswa calon guru. Pemahaman vektor yang hendak diungkap terkait vektor satuan, pengurangan vektor, arah vektor, komponen vektor, penjumlahan vektor, dan penentuan vektor yang memiliki besar yang sama. Untuk mencapai tujuan tersebut diberikan delapan soal berformat pilihan ganda yang dikemas dalam *webtool* kuis interaktif *Quizizz*.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian kuantitatif deskriptif. Penelitian dilakukan pada 38 mahasiswa calon guru fisika semester enam di Universitas Negeri Malang. Mahasiswa diminta masuk ke laman *Quizizz* untuk mengerjakan delapan butir soal kuis pemahaman konsep vektor yang dikemas dalam *webtool* kuis interaktif *Quizizz*. Kuis dibuka sejak tanggal 18 April 2019 pukul 21.55 dan berakhir pada tanggal 29 April 2019.

Penggunaan *Quizizz* dalam penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa keunggulan yang diperoleh. Keunggulan yang diperoleh melalui penggunaan *Quizizz* antara lain (1) penggunaan *webtool* kuis interaktif *Quizizz* lebih efisien karena menghemat kertas, (2) lebih efektif dan praktis karena jawaban mahasiswa terekam secara otomatis, dan langsung terkalkulasi pada *microsoft excel*, (3) tidak membosankan layaknya *paper based test*, karena dilengkapi gambar berwarna dan suara, serta (4) pengerjaan kuis dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja selama *gadget* terhubung dengan koneksi internet.

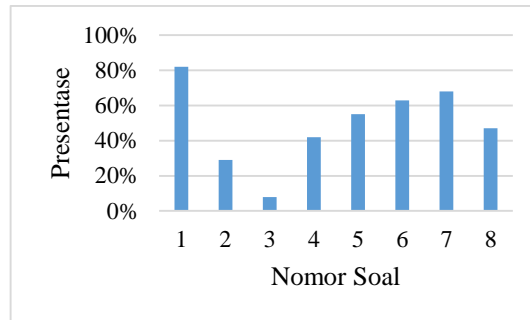
Pemahaman konsep vektor mahasiswa calon guru fisika yang hendak diungkap terkait vektor satuan, pengurangan vektor, arah vektor, komponen vektor, penjumlahan vektor, dan penentuan vektor yang memiliki besar yang sama. Tingkat persentase pemahaman konsep vektor dikategorikan dengan mengadopsi kategori oleh penelitian sebelumnya [11] yang disajikan pada Tabel 1. Adapun delapan soal yang digunakan dalam penelitian ini merupakan adaptasi dari kumpulan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Secara ringkas indikator dan sumber delapan soal yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Kategori pemahaman konsep.

No	Uraian	Keterangan
1.	$0 \leq x \leq 30\%$	Rendah
2.	$30\% < x \leq 60\%$	Sedang
3.	$60\% < x \leq 100\%$	Tinggi

Tabel 2. Karakteristik Butir Soal

No.	Indikator	Sumber
1.	Mahasiswa mampu menentukan vektor satuan berdasarkan gambar vektor	[11]
2.	Menunjukkan diagram gambar hasil pengurangan gambar dua vektor	[8]
3.	Menentukan arah vektor berdasarkan vektor satuan	[8]
4.	Menentukan komponen vektor berdasarkan nilai dan arah vektor	[11]
5.	Menentukan vektor yang memiliki nilai dan arah yang sama	[7]
6.	Menentukan gambar yang sesuai dengan penjumlahan gambar dua vektor	[7]
7.	Menentukan vektor yang memiliki nilai yang sama	[11]
8.	Menentukan gambar yang sesuai dengan pengurangan gambar dua vektor	[11]



Gambar 1. Presentase jawaban benar mahasiswa pada masing-masing nomor

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pemahaman Konsep Vektor

Sebanyak 38 mahasiswa calon guru fisika Universitas Negeri Malang yang mengikuti tes pemahaman konsep memperoleh nilai rata-rata sebesar 49 dari skor maksimum 100. Sebaran hasil pengerjaan mahasiswa pada setiap nomor disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1 tampak bahwa 82% mahasiswa menjawab benar dalam menentukan vektor satuan pada soal nomor 1. Pemahaman konsep mahasiswa pada vektor satuan berada pada kategori paling tinggi. Pada soal nomor 2 terkait pengurangan vektor di mana opsi yang disediakan tidak menampilkan vektor awalnya sebanyak 29% mahasiswa menjawab benar. Pemahaman mahasiswa pada pengurangan vektor termasuk kategori rendah. Pemahaman mahasiswa dalam menentukan arah vektor sebanyak 8% mahasiswa menjawab benar (kategori rendah), pemahaman mahasiswa dalam menentukan komponen vektor dalam kategori sedang (42%). Pemahaman mahasiswa dalam menentukan vektor pada arah yang sama dalam kategori sedang (55%). Pemahaman mahasiswa terkait penjumlahan vektor dalam kategori tinggi (63%). Pemahaman mahasiswa pada penentuan vektor yang sama besar pada kategori tinggi (68%). Pemahaman mahasiswa pada pengurangan vektor dimana vektor awal dan resultan vektor ditampilkan pada pilihan jawaban berada dalam kategori sedang (47%). Secara ringkas kategori pemahaman mahasiswa calon guru pada konsep vektor disajikan pada Tabel 3.

#### 3.2. Pemahaman Konsep Vektor Satuan

Soal nomor 1 disajikan untuk mengukur kemampuan mahasiswa calon guru fisika dalam menentukan vektor satuan. Mahasiswa diminta untuk menentukan vektor  $P$  dan  $Q$  yang diungkapkan dalam vektor satuan. Jumlah persentase siswa yang menjawab benar sebanyak 82%. Tingkat pemahaman konsep mahasiswa pada vektor satuan masuk dalam kategori tinggi. Mahasiswa yang gagal memilih opsi yang benar pada soal nomor 1 salah dalam menentukan vektor pada arah  $x$ ,  $-x$ ,  $y$ , dan  $-y$  yang diwakili oleh vektor satuan  $\hat{i}, -\hat{i}, \hat{j}, -\hat{j}$ .

Tabel 3. Kategori Pemahaman Konsep Mahasiswa

No.	Indikator	Sumber
1.	Mahasiswa mampu menentukan vektor satuan berdasarkan gambar vektor	Tinggi (82%)
2.	Menunjukkan diagram gambar hasil pengurangan gambar dua vektor	Rendah (29%)
3.	Menentukan arah vektor berdasarkan vektor satuan	Rendah (8%)
4.	Menentukan komponen vektor berdasarkan nilai dan arah vektor	Sedang (42%)
5.	Menentukan vektor yang memiliki nilai dan arah yang sama	Sedang (55%)
6.	Menentukan gambar yang sesuai dengan penjumlahan gambar dua vektor	Tinggi (63%)
7.	Menentukan vektor yang memiliki nilai yang sama	Tinggi (68%)
8.	Menentukan gambar yang sesuai dengan pengurangan gambar dua vektor	Sedang (47%)

Q4. Jika besar Vektor  $A = 30$  satuan membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap sumbu  $x$  positif. Nilai komponen vektor tersebut dalam sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  adalah ...

- a.  $A_x = 10$  satuan dan  $A_y = 20$  satuan    4 players    11 %
- b.  $A_x = 15$  satuan dan  $A_y = 15\sqrt{3}$  satuan    12 players    32 %
- c.  $A_x = 15$  satuan dan  $A_y = 20$  satuan    4 players    11 %
- d.  $A_x = 20$  satuan dan  $A_y = 10$  satuan    2 players    5 %
- e.  $A_x = 15\sqrt{3}$  satuan dan  $A_y = 15$  satuan    16 players    42 %

Gambar 2. Sebaran jawaban mahasiswa pada soal nomor 4.

### 3.3. Pemahaman Konsep Komponen Vektor

Soal nomor 4 disajikan untuk mengungkap pemahaman konsep mahasiswa calon guru fisika tentang komponen vektor. Mahasiswa diminta untuk menentukan besarnya komponen vektor pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  berdasarkan vektor yang ada pada soal. Sebanyak 42% mahasiswa mampu menjawab dengan benar. Pemahaman konsep mahasiswa pada vektor satuan berada pada kategori sedang. Adapun sebaran jawaban mahasiswa pada soal nomor 4 disajikan pada Gambar 2. Sebanyak 58% mahasiswa tidak mampu menentukan komponen vektor dengan benar. Hal ini disebabkan oleh mahasiswa gagal mengingat persamaan yang digunakan pada masing-masing sumbu [11].

### 3.4. Pemahaman Konsep Pengurangan Vektor

Soal nomor 2 dan 8 disajikan untuk mengungkap pemahaman konsep mahasiswa calon guru fisika tentang pengurangan dua vektor. Soal nomor 2 disajikan dua buah vektor yakni vektor  $A$  dan  $B$ , selanjutnya mahasiswa diminta untuk menentukan vektor  $A-B$ . Sebanyak 29% mahasiswa memilih opsi yang benar. Pemahaman konsep mahasiswa pada pengurangan vektor berada pada kategori yang rendah. Sebaran jawaban mahasiswa pada nomor 2 disajikan pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 tampak bahwa 34% mahasiswa memilih opsi A yang menunjukkan jawaban dengan arah vektor yang berlawanan arah dengan vektor  $A-B$ . Mahasiswa langsung menggambarkan vektor selisih dari ujung ke ujung, yakni dari ujung vektor  $A$  ke ujung vektor  $B$  [8]. Sebanyak 5% mahasiswa yang memilih opsi B menjawab vektor  $A-B$  sebagai vektor garis horizontal, yang mana kedua vektor diselisihkan berdasarkan besarnya vektor saja. Sebanyak 18% mahasiswa justru menggunakan cara yang sama dengan menjumlahkan vektor  $A$  dan  $B$  dengan memilih opsi C. Sisanya sebanyak 13% mahasiswa mengurangkan komponen vektor pada sumbu  $X$  dan menjumlahkannya pada sumbu  $Y$  (opsi D).



Gambar 3. Sebaran jawaban mahasiswa pada (a) soal nomor 2, dan (b) soal nomor 8.

Soal terkait pengurangan vektor juga disajikan pada nomor 8. Mahasiswa yang mampu menjawab dengan benar sebanyak 47%. Pemahaman konsep mahasiswa pada pengurangan vektor berada pada katogori sedang. Sebanyak 47% menyelesaikannya dengan soal nomor 8 dengan membuat definisi negatif dari vektor  $N$  ( $-N$ ), kemudian menjumlahkan vektor  $-N$  dengan vektor  $M$  melalui pembuatan vektor baru yang ditarik dari pangkal suatu vektor menuju ujung vektor lainnya. Sebaran jawaban mahasiswa pada soal nomor 8 disajikan pada Gambar 3.b.

Mahasiswa yang memilih opsi A sebanyak 13% menentukan vektor  $R$  dengan menarik garis dari pangkal vektor  $M$  ke pangkal vektor  $N$ . Sebanyak 13% mahasiswa yang memilih opsi B salah dalam menentukan vektor negatif. Seharusnya yang bernilai negatif (berubah arah) adalah vektor  $N$  bukan  $M$ . Mahasiswa yang memilih opsi C (18%) telah mampu menentukan negatif vektor  $N$ , dan menggambarkan vektor  $M$  dengan benar, namun salah dalam menggambarkan vektor  $R$  (resultan). Pada opsi C penggambaran vektor  $R$  dimulai dari pangkal vektor  $-N$  ke ujung vektor  $M$ . Mahasiswa yang memilih opsi E (8%) telah menggambar vektor  $R$  dengan benar yakni dari pangkal suatu vektor menuju ujung vektor lainnya, namun salah dalam menentukan vektor negatifnya.

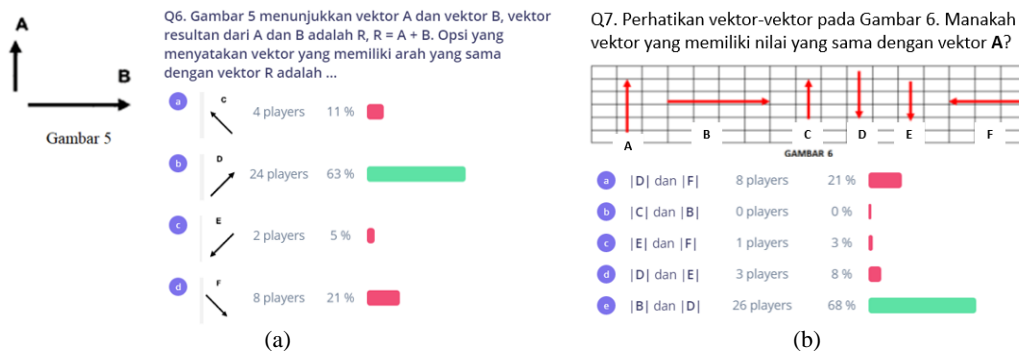
Berdasarkan pembahasan terkait pengurangan vektor pada soal nomor 2 dan 8 diketahui bahwa presentase mahasiswa yang mampu menjawab dengan benar pada soal nomor 2 (29%) lebih sedikit daripada nomor 8 (42%). Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa lebih kesulitan dalam menentukan pengurangan vektor jika opsi jawaban yang disediakan hanya menampilkan vektor resultan saja tanpa ada gambar dua vektor yang dikurangkan.

### 3.5. Pemahaman Konsep Penjumlahan Vektor

Soal nomor 6 disajikan untuk mengungkap pemahaman mahasiswa calon guru fisika terkait penjumlahan vektor. Sebanyak 63% mahasiswa telah mampu memilih opsi jawaban yang benar. Pemahaman mahasiswa terkait penjumlahan vektor berada pada kategori yang tinggi. Sebanyak 37% mahasiswa tidak mampu menyelesaikan penjumlahan vektor dengan langkah yang benar. Langkah penjumlahan vektor yang benar dimulai dengan menggambarkan salah satu vektor (vektor  $A$ ) terlebih dahulu kemudian menggambarkan vektor yang hendak dijumlahkan (vektor  $B$ ) pada ujung vektor yang telah digambar lebih dulu (vektor  $A$ ). Vektor resultan ( $A+B$ ) selanjutnya digambar dari pangkal vektor yang pertama digambarkan (vektor  $A$ ) ke ujung vektor kedua (vektor  $B$ ). Sebaran jawaban mahasiswa pada soal nomor 6 disajikan pada Gambar 4.a.

### 3.6. Pemahaman Konsep Nilai Vektor

Pemahaman konsep nilai vektor diuji melalui soal nomor 7. Sebanyak 68% mahasiswa mampu menentukan vektor yang memiliki nilai sama dengan vektor  $A$ . Pemahaman konsep mahasiswa terkait nilai vektor berada pada kategori tinggi. Adapun sebaran jawaban mahasiswa pada soal nomor 7 disajikan pada Gambar 4.b.



Gambar 4. Sebaran jawaban mahasiswa pada (a) soal nomor 6, (b) soal nomor 7.

Sebanyak 32% mahasiswa masih belum mampu menentukan nilai vektor yang sama karena mahasiswa tidak menghitung jumlah kotak yang ada pada vektor A. Selain itu, mahasiswa hanya memperhatikan arah vektor tanpa memperhatikan jumlah kotak pada vektor tersebut.

### 3.7. Pemahaman Konsep Arah Vektor

Pemahaman konsep arah vektor diuji dengan menggunakan soal nomor 3 dan 5. Pada soal nomor 3 mahasiswa calon guru fisika diminta untuk menentukan arah vektor A yang diukur dari sumbu X positif berdasarkan vektor satuan dari vektor A. Hanya 8% mahasiswa yang mampu menjawab dengan benar. Pemahaman konsep mahasiswa dalam menentukan arah vektor A dari sumbu X positif pada kategori rendah. Jawaban mahasiswa pada soal nomor 3 disajikan pada Gambar 5.a.

Sebanyak 42% mahasiswa memilih opsi D dikarenakan mahasiswa tersebut meyakini bahwa vektor A membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu X negatif, sehingga jika diukur dari sumbu X positif maka akan diperoleh jawaban  $135^\circ$ . Sedangkan 26% mahasiswa yang memilih opsi E menyelesaikan dengan  $\tan^{-1}(-4/3)$  dan melupakan bahwa sudut diukur dari sumbu X positif. Sebanyak 16% mahasiswa memilih opsi B dengan menggunakan  $\tan^{-1}(4/3)$ , mahasiswa melupakan bahwa vektor satuan A pada sumbu X adalah  $-3i$  dan mahasiswa juga melupakan bahwa sudut diukur dari sumbu x positif. Mahasiswa yang memilih opsi C dengan tepat melakukan perhitungan sudut diukur dari sumbu X positif, namun menggunakan  $\tan^{-1}(4/3)$  dan melupakan bahwa pada sumbu X vektor satuan A adalah  $-3i$ .

Pada soal nomor 5 mahasiswa diminta menentukan vektor yang memiliki arah yang sama dengan vektor A. Mahasiswa yang mampu memilih jawaban dengan benar sebanyak 55%. Pemahaman konsep mahasiswa terkait penentuan vektor dengan arah yang sama berada dalam kategori sedang. Hasil jawaban mahasiswa pada soal nomor 5 disajikan pada Gambar 5.b.

Berdasarkan sebaran jawaban mahasiswa, sebanyak 26% mahasiswa memilih vektor G sebagai vektor yang memiliki arah yang sama dengan vektor A. Mahasiswa yang memilih vektor G berasumsi bahwa vektor A dan G menunjuk ke wilayah yang sama yaitu ke arah timur laut. Mahasiswa tidak mempertimbangkan besar sudut yang dibentuk oleh vektor G terhadap sumbu tertentu, padahal arah vektor terkait dengan sudut yang dibentuk terhadap sumbu tertentu. Mahasiswa yang memilih vektor C sebanyak 13%, menunjukkan bahwa mahasiswa tidak menggunakan sumbu acuan yang sama dalam menentukan arah antara A (diukur dari sumbu X negatif) dan vektor C (diukur dari sumbu X positif). Mahasiswa yang memilih vektor D sebanyak 3% membuat vektor yang memiliki komponen Y yang sama dengan vektor A namun komponen Y merupakan negatif dari vektor A. Mahasiswa yang memilih vektor E tidak menggunakan sumbu acuan yang sama dengan vektor A.



Gambar 5. Sebaran jawaban mahasiswa pada (a) soal nomor 3, (b) soal nomor 5.

Berdasarkan pembahasan terkait penentuan arah vektor pada soal nomor 3 dan 5 diketahui bahwa persentase mahasiswa memilih opsi yang benar soal nomor 5 (55%) lebih banyak daripada soal nomor 3 (8%). Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa lebih sulit dalam menghitung arah dari suatu vektor terhadap sumbu tertentu daripada menentukan vektor dengan arah yang sama. Hasil serupa juga ditemukan dalam penelitian yang dilakukan oleh [8].

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan pemahaman mahasiswa pada konsep vektor sebesar 49% berada pada kategori sedang. Kesulitan pemahaman mahasiswa calon guru fisika antara lain disebabkan oleh (1) kegagalan dalam mengingat persamaan yang digunakan pada komponen vektor, (2) kesalahan dalam menggambar resultan pengurangan ( $A-B$ ) dan penjumlahan vektor ( $A+B$ ), (3) tidak menghitung jumlah kotak yang mewakili nilai dari suatu vektor, (4) kesalahan dalam menentukan arah vektor berdasarkan vektor satuan, serta (5) kesalahan mahasiswa karena hanya memerhatikan arah namun tidak fokus pada sudut yang dibentuk oleh vektor.

#### Daftar Rujukan

- [1] J. L. Docktor and J. P. Mestre, "Synthesis of discipline-based education research in physics," *Phys. Rev. Spec. Top.-Phys. Educ. Res.*, vol. 10, no. 2, p. 020119, 2014.
- [2] B. Hegde and B. N. Meera, "How do they solve it? An insight into the learner's approach to the mechanism of physics problem solving," *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Educ. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2012.
- [3] C. Von-Aufschnaiter and C. Rogge, "Misconceptions or missing conceptions?," *Eurasia J. Math., Sci. Technol. Educ.*, vol. 6, no. 1, pp. 3–18, 2010.
- [4] R. A. Serway, C. Vuille, and J. Hughes, *College Physics*, 10<sup>th</sup> Ed. USA: Gengage Learning, 2013.
- [5] S. K. Khotima, N. Maharta, and W. Suana, "Evaluasi pemahaman konsep siswa SMA/MA kelas X pada materi besaran vektor di Kota Metro," *J. Komodo Sci. Educ.*, vol. 1, no. 1, pp. 156–164, 2018.
- [6] K. Tsegaye, D. Baylie, and S. Dejne, "Computer based teaching aid for basic vector operations in higher institution physics.," *Latin-American J. Phys. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 3–6, 2010.
- [7] N.-L. Nguyen and D. E. Meltzer, "Initial understanding of vector concepts among students in introductory physics courses," *Am. J. Phys.*, vol. 71, no. 6, pp. 630–638, 2003.
- [8] P. Barniol and G. Zavala, "Test of understanding of vectors: A reliable multiple-choice vector concept test," *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Educ. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–14, 2014.
- [9] R. D. Knight, "The vector knowledge of beginning physics students," *The Phys. Teach.*, vol. 33, no. 2, pp. 74–77, 1995.
- [10] J. Van Deventer and M. C. Wittmann, "Comparing student use of mathematical and physical vector representations," *AIP Conf. Proc.*, vol. 951, pp. 208–211, 2007.
- [11] W. P. Sari, E. Suyanto, and W. Suana, "Analisis Pemahaman Konsep Vektor pada Siswa Sekolah Menengah Atas," *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 06, no. 2, pp. 159–168, 2017.