

Analisis Korelasi Kemampuan Berbahasa Panah Dengan Kualitas *Free-Body Diagram* Siswa Pada Materi Dinamika

Ogi Danika Pranata*¹, Evi Lorita²

¹Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, IAIN Kerinci

². SMA Negeri 2 Sungai Penuh

*ogidanika@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.52188/jpfs.v6i1.394>

Accepted: 28 Februari 2023

Approved: 10 Maret 2023

Published: 14 Maret 2023

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mengetahui bagaimana tingkat hubungan antara kemampuan bahasa panah dengan kualitas *free-body diagram*. Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 2 Sungai Penuh. Populasinya adalah 60 siswa kelas XI MIA. Semua populasi menjadi sampel (*whole population sampling*). Namun terdapat 6 data yang tidak lengkap sehingga hanya akan digunakan data 54 orang siswa kelas XI MIA. Proses pembelajaran dan tes kemampuan bahasa panah dengan kualitas *free-body diagram* diberikan kepada siswa. Data variabel terdistribusi secara normal dan saling berhubungan secara linear dengan korelasi positif yang ditunjukkan menggunakan scatterplot. Melalui uji korelasi Pearson dapat disimpulkan hubungan antara kedua variabel, yaitu terdapat korelasi yang tinggi antara kemampuan bahasa panah dengan kualitas *free-body diagram* siswa yang ditunjukkan oleh koefisien korelasi Pearson 0.611.

Kata kunci: bahasa panah; vektor; *free-body diagram*; gaya; korelasi; dinamika

ABSTRACT

Keyword: This study aims to analyze and determine the level of relationship between language of arrow skills with quality of free-body diagrams. The research was conducted at SMAN 2 Sungai Penuh. The population was 60 students of XI MIA. Using whole population sampling, but there were 6 incomplete data so only data from 54 students were used. The learning process and tests the language of arrow and quality of free-body diagrams were given to the students. The data is normally distributed and linearly related to each other with a positive correlation shown using a scatterplot. The Pearson correlation test conducted to show the relationship between variables. There is a high correlation between language of arrow skills and the quality of the free body diagram, which is indicated by the Pearson correlation coefficient of 0.611.

Keywords: language of arrow; vector; free-body diagram; force; correlation; dynamics

@2023 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon

PENDAHULUAN

Beberapa konsep yang pertama kali dipelajari dalam mata pelajaran fisika adalah konsep pengukuran dan vektor. Konsep pengukuran dan vektor menjadi dasar untuk mempelajari konsep

gerak yang dimulai dengan kinematika dan selanjutnya dinamika. Urutan konsep tersebut bukan tanpa alasan. Setiap konsep saling berhubungan antara satu dengan lainnya. Konsep yang dikenalkan lebih awal dipandang perlu untuk diketahui dan dipahami oleh siswa sebelum menuju konsep selanjutnya. Namun kenyataannya tidak demikian. Sering kali ditemukan bahwa pelajar kesulitan memahami konsep gerak dan gaya karena belum memahami konsep vektor yang dipelajari sebelumnya (Sirait, Hamdani and Oktavianty, 2017). Untuk itu penting untuk memastikan bahwa siswa telah memahami konsep dasar untuk mempelajari konsep baru.

Konsep paling mendasar dalam dinamika adalah gaya. Gaya merupakan penyebab gerak suatu benda. Gaya merupakan besaran turunan dengan satuan yang merupakan kombinasi dari kilogram, meter dan detik. Gaya juga tergolong sebagai besaran vektor karena gaya tidak hanya memiliki nilai, tetapi juga arah. Dengan demikian dapat diketahui bahwa untuk dapat memahami konsep gaya diperlukan pemahaman mengenai konsep pengukuran dan vektor.

Pemahaman konsep gaya siswa dapat diukur berdasarkan kemampuan dalam menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda atau sistem (Etkina and Planinšič, 2015; Lin and Singh, 2015; Pranata, Wartono and Yuliati, 2016). Sebagai besaran vektor, analisis gaya memerlukan pemahaman konsep vektor. Terdapat cara kreatif yang dikembangkan untuk mempelajari vektor secara geometris, yaitu menggunakan panah sebagai representasi untuk gaya. Panah selanjutnya bertransformasi menjadi alat komunikasi baru yang disebut dengan *bahasa panah* (*The Language of Arrow*, TLA) (Heafner, 2015). Bahasa panah dipandang sebagai bahasa baru untuk berkomunikasi mengenai vektor dengan komponen utamanya adalah panah. Suatu panah dapat dikombinasikan dengan panah lainnya untuk menghasilkan panah baru yang ditunjukkan melalui diagram. Panah-panah tersebut kemudian dapat menjadi representasi untuk gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda atau sistem. Panjang panah merepresentasikan nilai atau besarnya gaya yang bekerja dan arah panah merepresentasikan arah gaya yang bekerja pada benda atau sistem. Sehingga pemahaman bahasa panah menggunakan diagram dapat menjadi dasar untuk menganalisis gaya.

Diagram gaya yang dihasilkan kemudian disebut dengan *free-body diagram*. *Free-body diagram* telah banyak diteliti dalam berbagai konteks. Kesimpulan yang sama diperoleh, yaitu *free-body diagram* merupakan representasi yang dapat membantu siswa untuk menganalisis gaya (Ayesh *et al.*, 2010; Berge and Weilenmann, 2014; Aviani, Erceg and Mešić, 2015). *Free-body diagram* juga dapat membantu siswa dalam memvisualisasikan permasalahan (Hill and Sharma, 2015), mempelajari dan memahami suatu konsep (Pranata, Yuliati and Wartono, 2017), diterapkan pada banyak situasi mekanika (Fredlund *et al.*, 2014), membangun suatu hubungan besaran fisika (McCarthy and Goldfinch, 2010), dan mengarahkan pada penguasaan konsep fisis (Ayesh *et al.*, 2010; Berge and Weilenmann, 2014).

Free-body diagram telah menjadi representasi penting dan memberikan banyak manfaat dalam mempelajari konsep gerak dan gaya. *Free-body diagram* dapat membantu dalam menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan besaran vektor dan membantu dalam menentukan persamaan gerak benda (Etkina *et al.*, 2006; Rosengrant, Van Heuvelen and Etkina, 2009; Savinainen *et al.*, 2013). Namun ditemukan banyak kesulitan yang dialami oleh siswa ketika merancang *free-body diagram*. Salah satu penyebabnya adalah rendahnya pengetahuan awal siswa yang rendah mengenai analisis vektor (Poluakan and Runtuwene, 2018). Panah sebagai suatu bentuk bahasa yang penting untuk dikuasai siswa ketika memahami konsep gaya, menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada benda dan merancang *free-body diagram* (Heafner, 2015).

Berdasarkan penjelasan di atas, selanjutnya akan ditelusuri bagaimana tingkat hubungan atau korelasi antara kemampuan siswa menggunakan bahasa panah dengan kualitas *free-body diagram* yang dirancang oleh siswa pada materi gerak, khususnya dinamika.

METODE

Metode penelitian yang diterapkan adalah metode kuantitatif korelasional. Korelasi dapat diinterpretasikan sebagai suatu kecenderungan dua variabel (kumpulan data) bervariasi secara konsisten (Cohen, Manion and Morrison, 2018). Konsistensi variasi ini ditunjukkan dalam suatu hubungan antara dua variabel penelitian. Jadi metode ini bertujuan untuk mengetahui hubungan atau tingkat hubungan antar variabel-variabel dalam penelitian. Terdapat dua variabel yaitu satu variabel

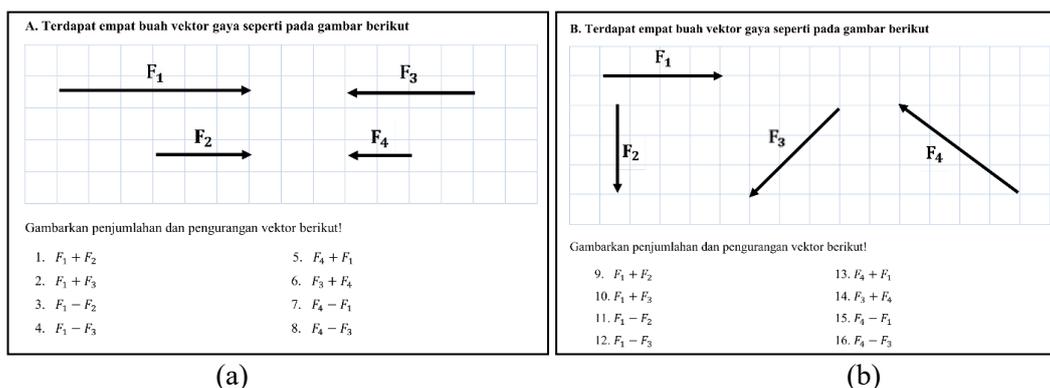
bebas (*independen*) dan satu variabel terikat (*dependen*). Variabel bebas adalah *kemampuan bahasa panah* (X) dan variabel terikatnya adalah *kualitas free-body diagram* (Y).

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 2 Sungai Penuh. Populasinya adalah siswa kelas XI MIA SMA Negeri 2 Sungai Penuh. Karena populasi cukup kecil, peneliti menerapkan semua populasi sebagai sampel (*whole population sampling*). Namun terdapat 6 data siswa yang tidak lengkap sehingga tidak dapat dilibatkan dalam analisis korelasi variabel. Jadi data yang digunakan dalam analisis adalah data kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram* dari 54 orang siswa kelas XI MIA.

Tabel 1. Rubrik Penilaian

Variabel	0 (Missing)	1 (Inadequate)	2 (Need Improvement)	3 (Adequate)
Kemampuan Bahasa Panah	Tidak menjawab soal bahasa panah	Menjawab soal, tetapi terdapat miskonsepsi utama dalam prosesnya seperti arah panah terbalik atau kesalahan operasi panah	Menjawab soal, tidak ada kesalahan fatal, tetapi tidak akurat secara visual atau terdapat masalah kelengkapan pada panah	Menjawab soal dengan dengan benar dan akurat
Kualitas <i>free-body diagram</i>	Tidak membuat <i>free-body diagram</i>	Membuat <i>free-body diagram</i> , namun terdapat kesalahan utama seperti besaran vektor, arah vektor yang tidak tepat, kelebihan vektor, atau ada vektor yang hilang.	Membuat <i>free-body diagram</i> , tidak ada kesalahan pada besaran vektor, tetapi tidak disertai label dan tidak digambar dari titik yang sesuai.	<i>Free-body diagram</i> yang dibuat sudah tepat dan setiap besaran vektor diberi label, sehingga jelas setiap besaran vektor yang direpresentasikan.

Instrumen tes disiapkan oleh peneliti untuk mengumpulkan data kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*. Kedua data diperoleh dari jawaban siswa saat menjawab soal tes. Terdapat 16 butir soal bahasa panah (Gambar 1) dan 5 butir soal kualitas *free-body diagram*. Soal telah divalidasi oleh dua orang ahli dan melalui uji empiris. Uji empiris dilaksanakan di sekolah tempat pelaksanaan penelitian dengan subjeknya adalah siswa kelas XII MIA. Penilaian kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram* menggunakan rubrik penilaian yang dikembangkan seperti pada Tabel 1. Rubrik dan indikator penilaian kemampuan bahasa panah dikembangkan sendiri oleh peneliti. Sedangkan rubrik dan indikator penilaian kualitas *free-body diagram* diadopsi dari rubrik dan indikator penilaian yang dikembangkan oleh Etkina dan rekannya (Etkina *et al.*, 2006). Setelah data dikumpulkan melalui tes menggunakan instrumen yang telah disiapkan, data yang diperoleh dikonversikan ke dalam skala 100. Kemudian data dianalisis secara deskriptif dan diuji secara korelasional.



Gambar 1. Soal bahasa panah: (a) satu dimensi dan (b) dua dimensi

Data-data yang telah dikumpulkan menggunakan soal tes (kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*) diuji korelasinya melalui uji korelasi Pearson menggunakan SPSS. Uji ini

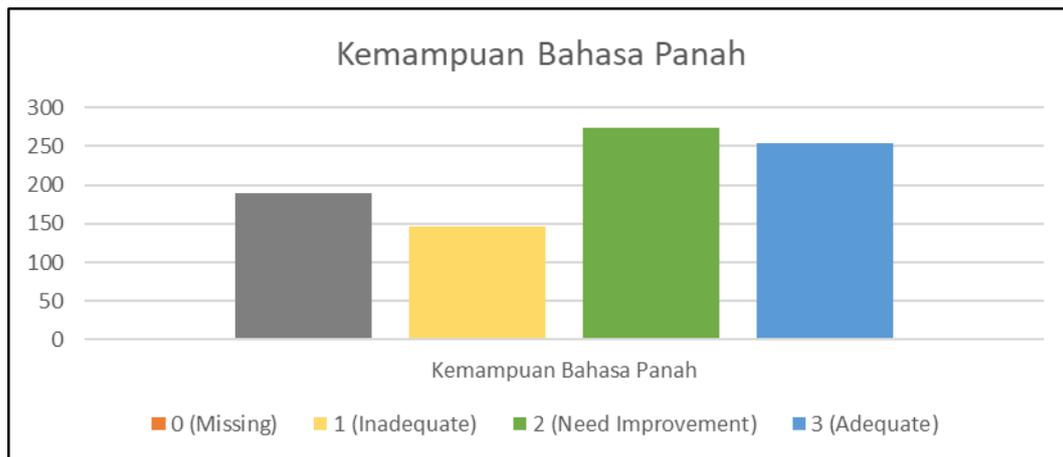
harus memenuhi beberapa asumsi, yaitu data masing-masing variabel terdistribusi normal dan hubungan antara dua variabel harus linier yang dapat ditunjukkan menggunakan *scatterplot* (Morgan *et al.*, 2004; Leech, Barret and Morgan, 2005). Hasil uji korelasi ditunjukkan oleh angka yang berada pada rentang -1.0 (korelasi negatif) melalui 0.0 (tidak ada korelasi) menuju 1.0 (korelasi positif). Korelasi negatif menunjukkan nilai satu variabel yang tinggi berhubungan dengan nilai variabel lain yang rendah dan berlaku sebaliknya. Korelasi positif menunjukkan bahwa nilai dari satu variabel yang tinggi berhubungan dengan nilai variabel lain yang tinggi. Tidak ada korelasi berarti bahwa nilai satu variabel tinggi berhubungan dengan nilai variabel lain yang bervariasi (tinggi, sedang dan rendah).

HASIL DAN PEMBAHASAN

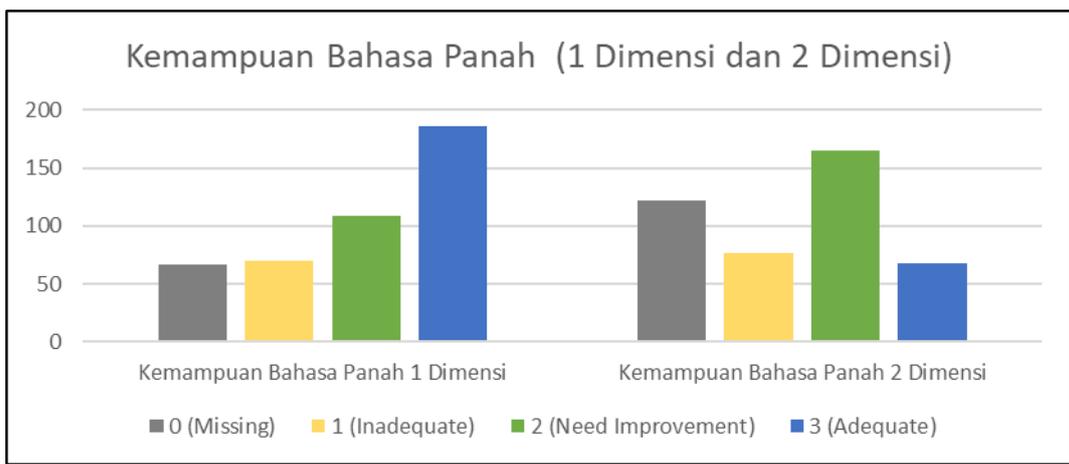
Proses pembelajaran singkat diberikan berkaitan dengan konsep bahasa panah dan *free-body diagram*. Tujuannya adalah untuk mendukung analisis korelasi atau hubungan antara kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*. 60 orang siswa telah mengikuti proses pembelajaran dengan mengacu pada variabel yang diukur. Pada pertemuan terakhir, dilakukan tes untuk mengukur kedua variabel (kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*). Namun terdapat 6 orang siswa yang tidak mengikuti tes sehingga data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil tes dari 54 orang siswa. Selanjutnya data dianalisis secara deskriptif untuk masing-masing variabel dan dilakukan uji korelasional antar variabel dengan hasil yang ditunjukkan sebagai berikut.

Kemampuan Bahasa Panah

Data kemampuan bahasa panah diperoleh dari jawaban siswa ketika menjawab soal bahasa panah. Dengan sampel berjumlah 54 orang dan terdapat 16 soal kemampuan bahasa panah, maka diperoleh 864 jawaban yang dinilai berdasarkan rubrik yang telah dikembangkan (Tabel 1). Data kemampuan bahasa panah secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 2. Soal kemampuan bahasa panah terbagi menjadi dua bagian, yaitu soal bahasa panah satu dimensi dan soal bahasa panah dua dimensi. Data untuk masing-masing dimensi ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 2. Data Kemampuan Bahasa Panah

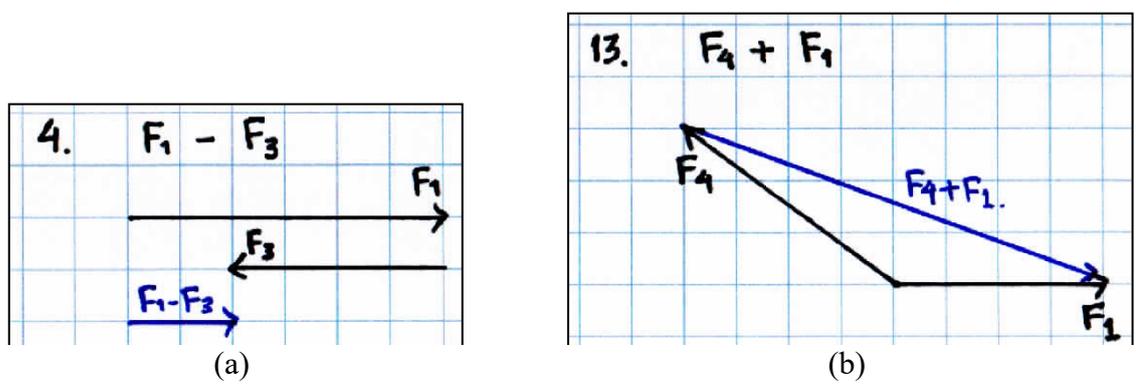


Gambar 3. Data Kemampuan Bahasa Panah 1 Dimensi dan 2 Dimensi

Sesuai dengan rubrik penilaian pada Tabel 1, rentang nilai untuk kemampuan bahasa panah mulai dari 0-3. Berdasarkan data pada Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa sebagian besar jawaban kemampuan bahasa panah siswa sudah cukup baik, yaitu dengan rata-rata 1.69. Nilai rata-rata tersebut setara dengan 56.2 dalam skala 100. Sebagian besar jawaban siswa berada pada kategori nilai 2 dan 3 (61.1%). Jawaban dengan nilai 2 berjumlah 274 jawaban dan nilai 3 dengan jumlah 254 jawaban. Namun masih terdapat relatif banyak jawaban yang kosong (dengan skor 0), yaitu 189 jawaban. Sedangkan jawaban yang terdapat kesalahan serius dengan skor 1 menjadi jawaban yang paling sedikit ditemukan di antara jawaban dengan skor lain, yaitu 147 jawaban.

Jawaban dengan nilai 0. Ketika ditunjukkan dalam persentase, jumlah soal yang tidak dijawab oleh siswa adalah 21.88%. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari seperlima soal tidak dijawab oleh siswa. Bahkan terdapat beberapa orang siswa yang tidak menjawab seluruh soal bahasa panah dua dimensi. Ketika dibandingkan, soal bahasa panah 2 dimensi lebih banyak tidak dijawab oleh siswa dibandingkan dengan 1 dimensi (Gambar 3).

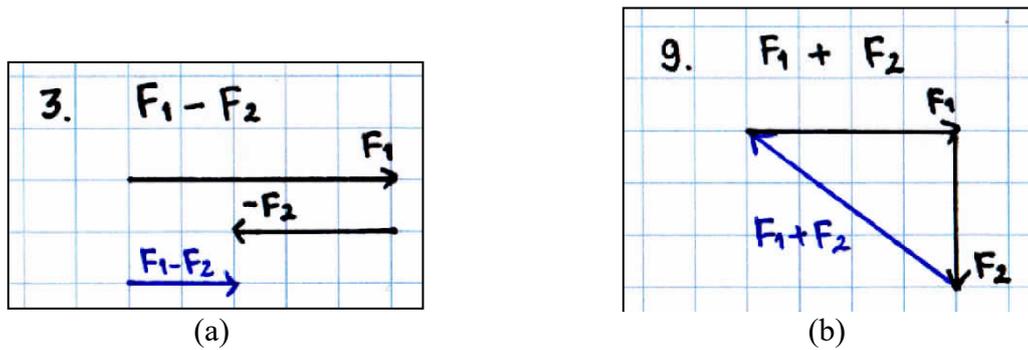
Jawaban dengan nilai 1. Secara keseluruhan jawaban dengan nilai 1 (terdapat kesalahan fatal) merupakan tipe jawaban yang paling sedikit dibandingkan dengan jawaban dengan nilai lainnya (17%). Berdasarkan Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa jawaban dengan nilai 1 tidak berbeda jauh antara 1 dimensi dan 2 dimensi. Untuk 1 dimensi, kesalahan fatal yang paling sering ditemukan adalah kesalahan dalam memaknai tanda negatif ketika mengoperasikan panah (Gambar 4a). Sedangkan untuk 2 dimensi, kesalahan fatal umumnya ditemukan berhubungan dengan penempatan panah atau keliru dalam memposisikan panah saat dioperasikan (Gambar 4b).



Gambar 4. Contoh jawaban siswa dengan nilai 1 (a) kesalahan memaknai tanda negatif pada operasi panah dan (b) kesalahan penempatan panah ketika dioperasikan

Jawaban dengan nilai 2. Data pada Gambar 2 menunjukkan bahwa jawaban terbanyak adalah dengan nilai 2 dimana tidak ada kesalahan fatal pada jawaban siswa (31.7%). Untuk bahasa panah satu dimensi, kesalahan yang paling umum ditemukan adalah ketidakakuratan dalam menggambarkan panjang panah (Gambar 5a). Kemudian pada soal bahasa panah dua dimensi, kesalahan yang paling

umum ditemukan adalah kesalahan dalam menentukan arah panah hasil dari operasi bahasa panah atau terbalik dalam menentukan arah panah (Gambar 5b).

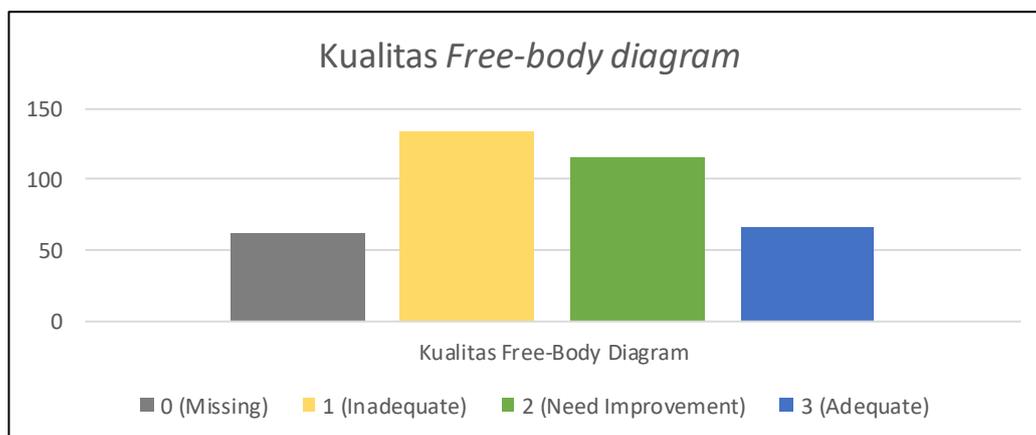


Gambar 5. Contoh jawaban siswa dengan nilai 2 (a) panjang panah tidak akurat dan (b) kesalahan arah panah hasil operasi

Temuan unik dari jawaban dengan nilai 2 adalah jumlah jawaban untuk dua dimensi lebih banyak dibandingkan dengan satu dimensi. Artinya kesalahan minim justru ditemukan lebih banyak pada soal bahasa panah satu dimensi dibandingkan dengan dua dimensi. Kondisi ini berbeda dengan jumlah jawaban dengan skor 3 (jawaban yang sesuai dengan kunci jawaban), dimana jumlah jawaban soal untuk dua dimensi jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jawaban satu dimensi. Secara logika, semakin tinggi dimensinya maka akan semakin sulit mengoperasikan bahasa panah karena terdapat lebih banyak faktor (dalam hal ini dimensi tambahan) yang perlu dipertimbangkan. Jadi secara logika, jawaban dengan nilai 3 sesuai dengan prediksi. Namun jawaban dengan nilai 2 menjadi bagian unik yang dapat mengarahkan kita pada kesimpulan sementara bahwa kesalahan minim mungkin terjadi pada berbagai kasus, baik kasus yang sederhana maupun kasus yang lebih kompleks.

Kualitas *Free-Body Diagram*

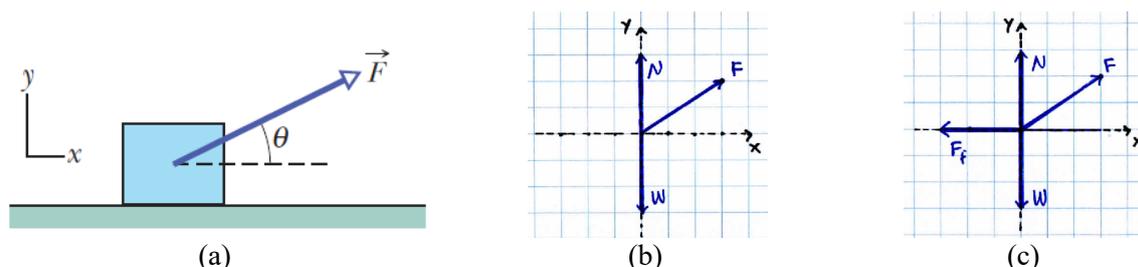
Data kualitas *free-body diagram* diperoleh dari jawaban siswa ketika menjawab lima soal yang meminta siswa untuk menggambarkan *free-body diagram* pada masing-masing soal. Dua dari lima butir soal meminta siswa untuk menggambarkan dua buah *free-body diagram* untuk kondisi fisis yang berbeda. Sehingga secara keseluruhan terdapat tujuh buah *free-body diagram* yang dinilai dari lima soal tersebut. Sehingga dengan sampel berjumlah 54 orang diperoleh 378 jawaban yang dinilai berdasarkan rubrik yang telah dikembangkan (Tabel 1). Data kualitas *free-body diagram* secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Data Kualitas *Free-body diagram*

Sesuai dengan rubrik penilaian pada Tabel 1, rentang nilai untuk kualitas *free-body diagram* sama dengan rentang nilai kemampuan bahasa panah, yaitu mulai dari 0-3. Berdasarkan data kualitas *free-body diagram* pada Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa kualitas yang paling dominan untuk *free-body diagram* adalah *free-body diagram* dengan nilai 1 (terdapat kesalahan utama) dan diikuti dengan nilai 2 (terdapat sedikit kesalahan). Namun masih terdapat 62 jawaban kosong atau 16.4% dari total jawaban. Persentase yang hampir sama dengan jumlah jawaban dengan nilai 3 (*free-body diagram* sesuai yang diharapkan), yaitu 17.5%. Berdasarkan data tersebut diperoleh rata-rata kualitas *free-body diagram* yang dirancang oleh siswa adalah 1.47. Nilai rata-rata tersebut setara dengan 48.9 dalam skala 100.

Kesalahan umum yang ditemukan pada *free-body diagram* yang dirancang oleh siswa terkait dengan kelengkapan gaya yang terlibat dalam masalah pada soal (untuk nilai 1) dan masalah akurasi arah dan panjang panah untuk merepresentasikan gaya serta simbol untuk gaya (untuk nilai 2). Contoh *free-body diagram* untuk masalah ini ditunjukkan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Contoh kualitas *free-body diagram* yang dirancang oleh siswa: (a) soal (b) nilai 1 (c) nilai 2

Secara deskriptif telah ditunjukkan data kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*. Namun hasil utama dari penelitian ini adalah bagaimana hubungan keduanya yang akan dibahas selanjutnya.

Korelasi Kemampuan Bahasa Panah dengan Kualitas *Free-Body Diagram*

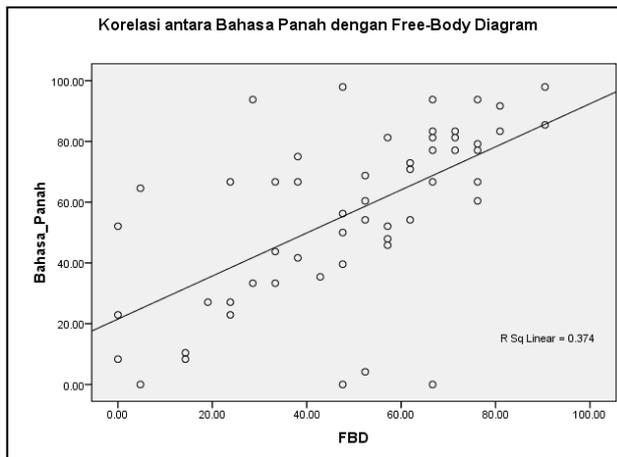
Uji korelasi Pearson dapat dilakukan ketika asumsi dasarnya terpenuhi, yaitu jika data masing-masing terdistribusi secara normal dan keduanya memiliki hubungan yang linear. Normalitas data dapat diketahui melalui statistik deskriptif masing-masing variabel. Data terdistribusi normal jika nilai *skewness* antara -1 sampai dengan +1. Berikut hasil analisis statistik deskriptif yang diperoleh menggunakan SPSS.

Tabel 2. Statistik Deskriptif

	N	Range	Min	Max	Mean	Std. Deviation	Variance	Skewness	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error
Kemampuan Bahasa Panah	54	97.92	0.00	97.92	56.21	28.34	802.96	-0.53	.325
<i>Free-Body Diagram</i>	54	90.48	0.00	90.48	48.94	24.45	597.63	-0.44	.325
Valid N (listwise)	54								

Kedua variabel (kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*) terdistribusi normal yang ditunjukkan oleh nilai *skewness* antara -1 sampai dengan +1, yaitu -0.53 untuk kemampuan bahasa panah dan -0.44 untuk kualitas *free-body diagram*.

Asumsi selanjutnya adalah hubungan antara kedua variabel terbukti linear yang ditunjukkan oleh *scatterplot* seperti pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Korelasi Antara Bahasa Panah dengan kualitas *Free-body diagram* (FBD)

Scatterplot merupakan plot atau grafik dari dua variabel yang menunjukkan bagaimana nilai dari masing-masing individu (siswa) pada satu variabel berhubungan dengan nilainya pada variabel yang lain. Korelasi yang linear ditunjukkan oleh garis lurus dengan kemiringan garis dari kiri bawah ke kanan atas untuk korelasi positif dan dari kiri atas ke kanan bawah untuk korelasi negatif (Morgan *et al.*, 2004; Leech, Barret and Morgan, 2005). Berdasarkan penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan lienar dengan korelasi positif antara kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*.

Sekarang asumsi telah terpenuhi sehingga uji korelasi Pearson dapat dilakukan. Uji dilakukan menggunakan SPSS dengan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Uji Korelasi Pearson

		Bahasa Panah	<i>Free-Body Daigram</i>
Bahasa Panah	Pearson Correlation	1	.611**
	Sig. (2-tailed)		.000
<i>Free-Body Daigram</i>	Pearson Correlation	.611**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa setiap variabel memiliki koefisien korelasi positif. Artinya siswa dengan nilai kemampuan bahasa yang tinggi cenderung akan tinggi untuk kualitas *free-body diagram* dan berlaku sebaliknya. Korelasi positif juga dapat dimaknasi dengan kondisi yang menunjukkan bahwa setiap peningkatan suatu nilai variabel, maka variabel lainnya juga memiliki peningkatan nilai. Berlaku juga untuk kondisi ketika terjadi penurunan suatu nilai variabel, maka nilai variabel lain juga turun. Kemudian berdasarkan koefisien korelasi yang diperoleh dan kategori tingkat korelasi dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi yang tinggi antara kemampuan bahasa panah dan kualitas *free-body diagram*. Korelasi positif antara konsep vektor dan *free-body diagram* juga ditemukan oleh peneliti lain, tetapi dengan korelasi pada tingkat medium (Sirait, Hamdani and Oktavianty, 2017).

Hubungan antara kemampuan bahasa panah (vektor) dengan kualitas *free-body diagram* juga ditunjukkan secara implisit melalui usaha pembelajaran dalam meningkatkan kualitas *free-body diagram* seperti yang telah dilakukan. Kualitas *free-body diagram* dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode mnemonik ABCDE (Leipold and Ivancic, 2018). Masing-masing huruf mewakili bagian dari *free-body diagram*, yaitu *All force* (semua gaya), *Body* (benda), *Coordinates* (koordinat), *Dimensions* (dimensi), dan akhirnya mengarah pada *Equations* (persamaan). Hubungan antara bahasa panah ditunjukkan oleh elemen koordinat dan dimensi dari *free-body diagram*. Mereka

menemukan bahwa 86% pelajar setuju bahwa metode ABCDE bermanfaat untuk mempelajari *free-body diagram*. Peneliti sendiri juga menemukan 83% siswa menyatakan bahwa kemampuan bahasa panah penting sebagai dasar untuk merancang *free-body diagram*.

Kemampuan dalam merancang *free-body diagram* sangat penting untuk dikuasai oleh pelajar, khususnya untuk materi yang berhubungan dengan besaran vektor. Free-body diagram tidak hanya menyederhanakan masalah, tetapi juga dapat mengarah pada konstruksi persamaan seperti dalam metode ABCDE (Leipold and Ivancic, 2018). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kesalahan dalam membuat persamaan gerak (Davis and Lorimer, 2018) dan penguasaan konsep (Pranata, Yuliati and Wartono, 2017) disebabkan kekeliruan pada *free-body diagram* yang dirancang oleh siswa. Bahkan free-body diagram dapat membantu siswa dalam memecahkan suatu permasalahan (Lin and Singh, 2015; Davis and Lorimer, 2018). Hubungan dan/atau pengaruh dari kualitas *free-body diagram* layak untuk terus ditelusuri dengan melibatkan variabel lainnya seperti konstruksi persamaan, penguasaan konsep, kemampuan pemecahan masalah, kemampuan berpikir, efikasi diri, motivasi, dan sebagainya.

KESIMPULAN

Kemampuan bahasa panah (vektor) dan kualitas *free-body diagram* memiliki korelasi yang tinggi. Konsep vektor yang ditunjukkan oleh kemampuan bahasa panah dengan nilai tinggi mendasari konstruksi *free-body diagram* yang berkualitas. Sebaliknya konsep vektor dalam kemampuan bahasa dengan nilai rendah berhubungan dengan *free-body diagram* yang kurang berkualitas. Hubungan keduanya layak untuk ditelusuri lebih lanjut dengan melibatkan variabel lain yang berhubungan dengan materi seperti penguasaan konsep atau melibatkan kemampuan tambahan seperti konstruksi persamaan, penguasaan konsep, kemampuan pemecahan masalah, kemampuan berpikir, komunikasi, argumen, efikasi diri, motivasi, dan sebagainya. Representasi free-body diagram bahkan dibandingkan dengan representasi lainnya seperti simbol, matematis, dan sebagainya.

Setelah melakukan penelitian, mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasikan data, peneliti menyadari keterbatasan penelitian yang dilakukan. Keterbatasan terletak pada ruang lingkup materi. Penelitian ini hanya dilakukan untuk satu bab materi fisika, yaitu dinamika. Ide penelitian ini dapat diterapkan untuk materi lain yang melibatkan besaran vektor (besaran yang memiliki nilai dan arah) seperti gaya gravitasi, momentum, usaha, torsi, gaya elektromagnetik, dan konsep vektor lainnya. Dengan segala keterbatasan tersebut, peneliti telah berusaha semaksimal mungkin untuk menjawab masalah dalam penelitian ini dan menginterpretasikan hasilnya sehingga dapat dimanfaatkan oleh siswa dalam menambahkan pengalaman belajar baru, ide pembelajaran yang baru bagi guru, dan acuan penelitian bagi peneliti pendidikan lainnya.

REFERENSI

- Aviani, I., Erceg, N. and Mešić, V. (2015) 'Drawing and using free body diagrams: Why it may be better not to decompose forces', *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2), pp. 1–14. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.11.020137.
- Ayesh, A. *et al.* (2010) 'The effect of student use of the free-body diagram representation on their performance', *Educational Research*, 1(10), pp. 505–511. Available at: <http://repository.ksu.edu.sa/jspui/handle/123456789/14478>.
- Berge, M. and Weilenmann, A. (2014) 'Learning about friction: group dynamics in engineering students' work with free body diagrams', *European Journal of Engineering Education*, 39(6), pp. 601–616. doi: 10.1080/03043797.2014.895708.
- Cohen, L., Manion, L. and Morrison, K. (2018) *Research Methods in Education*. Eighth edi. New York: Routledge.
- Davis, J. A. and Lorimer, S. (2018) 'Student performance on drawing free body diagrams and the effect on problem solving', *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 2018-June. doi: 10.18260/1-2--31013.

- Etkina, E. *et al.* (2006) 'Scientific abilities and their assessment', *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(2), pp. 1–15. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.2.020103.
- Etkina, E. and Planinšič, G. (2015) 'Defining and Developing "Critical Thinking" Through Devising and Testing Multiple Explanations of the Same Phenomenon', *The Physics Teacher*, 53(7), pp. 432–437. doi: 10.1119/1.4931014.
- Fredlund, T. *et al.* (2014) 'Unpacking physics representations: Towards an appreciation of disciplinary affordance', *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(2), pp. 1–13. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.10.020129.
- Heafner, J. (2015) 'The language of the arrows', *The Physics Teacher*, 53(7), pp. 445–446. doi: 10.1119/1.4931020.
- Hill, M. and Sharma, M. D. (2015) 'Students' representational fluency at university: A cross-sectional measure of how multiple representations are used by physics students Using the representational fluency survey', *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(6), pp. 1633–1655. doi: 10.12973/eurasia.2015.1427a.
- Leech, N. L., Barret, K. C. and Morgan, G. A. (2005) *SPSS for Intermediate Statistics. Use and Interpretation*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. All.
- Leipold, K. N. and Ivancic, S. R. (2018) 'Efforts to improve free body diagrams', *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 2018-June. doi: 10.18260/1-2--30365.
- Lin, S. Y. and Singh, C. (2015) 'Effect of scaffolding on helping introductory physics students solve quantitative problems involving strong alternative conceptions', *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2), pp. 1–19. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.11.020105.
- McCarthy, T. J. and Goldfinch, T. (2010) 'Teaching the concept of free body diagrams', *AaeE 2010*, (Lane 1993), pp. 454–460.
- Morgan, G. A. *et al.* (2004) *SPSS for Introductory Statistics. Use and Interpretation*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. All.
- Poluakan, C. and Runtuwene, J. (2018) 'Students' difficulties regarding vector representations in free-body system', *Journal of Physics: Conference Series*, 1120(1). doi: 10.1088/1742-6596/1120/1/012062.
- Pranata, O. D., Wartono and Yuliati, L. (2016) 'Kesulitan siswa SMA pada Penggunaan Free-body Diagram dalam Materi Dinamika', in *Proseiding Seminar Nasional Pendidikan IPA Pascasarjana UM*. Malang: Pascasarjana UM, pp. 394–404.
- Pranata, O. D., Yuliati, L. and Wartono, D. (2017) 'Concept Acquisition of Rotational Dynamics by Interactive Demonstration and Free-Body Diagram', *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 11(3), pp. 291–298. doi: 10.11591/edulearn.v11i3.6410.
- Rosengrant, D., Van Heuvelen, A. and Etkina, E. (2009) 'Do students use and understand free-body diagrams?', *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 5(1), pp. 1–13. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.5.010108.
- Savinainen, A. *et al.* (2013) 'Does using a visual-representation tool foster students' ability to identify forces and construct free-body diagrams?', *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(1), pp. 1–11. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.9.010104.
- Sirait, J., Hamdani and Oktavianty, E. (2017) 'Analysis of pre-service physics teachers' understanding of vectors and forces', *Journal of Turkish Science Education*, 14(2), pp. 82–95. doi: 10.12973/tused.10200a.