



Introduction The Concept of The Physical Quantity "Area" as a Vector Quantity in Physics Education Students at the University of Mataram

Joni Rokhmat^{1,2,3*}, Prelia Dwi Amanah¹, Naf'atuzzahrah², Huraiza Mahmudah²

¹ Department of Natural Science Education Doctoral Program, Postgraduate Program, University of Mataram, Indonesia;

² Department of Science Education, Postgraduate Program, University of Mataram, Indonesia;

³ Department of Physics Education, Teacher Training and Education Faculty, University of Mataram, Indonesia.

Article history

Received: 8 Februari 2025

Revised: 15 Februari 2025

Accepted: 28 Februari 2025

*Corresponding Author: Joni Rokhmat, University of Mataram, Mataram, Indonesia;
Email: joni.fkip@unram.ac.id.

Abstract: Pemahaman konsep besaran vektor merupakan salah satu kompetensi penting yang harus dimiliki oleh mahasiswa calon guru fisika. Namun dalam praktik pembelajaran, masih ditemukan miskonsepsi mengenai beberapa besaran fisika, salah satunya adalah besaran luas yang umumnya dipahami sebagai besaran skalar. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk memperkenalkan dan memperkuat pemahaman mahasiswa tentang konsep luas sebagai besaran vektor melalui analisis fenomena-fenomena fisika yang relevan. Kegiatan dilaksanakan pada mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram yang mengikuti perkuliahan Fisika Matematika I dan Fisika Dasar I. Metode kegiatan meliputi identifikasi pemahaman awal mahasiswa, penyampaian materi melalui presentasi dan diskusi konseptual, serta pembahasan beberapa fenomena fisika seperti fluks listrik, fluks magnet, dan hubungan luas dengan operasi vektor. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa pada tahap awal seluruh mahasiswa menganggap luas sebagai besaran skalar. Melalui kegiatan ini, mahasiswa memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai konsep luas sebagai besaran vektor yang arahnya dinyatakan oleh vektor normal bidang. Kegiatan ini diharapkan dapat mendukung peningkatan pemahaman konsep fisika dasar bagi mahasiswa calon guru fisika sehingga mampu mengajarkan konsep-konsep fisika secara lebih tepat dalam proses pembelajaran.

Keywords: Pengenalan Konsep; Besaran Fisika Luas; Besaran Skalar; Besaran Vektor; Mahasiswa Pendidikan Fisika.

Pendahuluan

A. Analisis Situasi

Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM) termasuk salah satu unsur dari pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Dalam KPM kali ini, kegiatan dilakukan dalam rangka mendukung upaya memperbaiki miskonsepsi mahasiswa tentang besaran vector Luas. Pembahasan ini sangat cocok diberikan kepada mahasiswa calon guru fisika yang salah satu

tugas pokok dalam mengajar adalah menanamkan pengertian konsep besaran vektor.

Saat memberi kuliah fisika matematika I dengan sub pokok bahasan integral permukaan, penulis memberi pertanyaan kepada 64 mahasiswa yang mengambil mata kuliah tersebut, mengenai besaran fisika luas. Apakah besaran luas tersebut sebagai besaran vektor atau skalar. Ternyata seluruh mahasiswa menyatakan bahwa besaran luas adalah besaran skalar. Sementara pada perkuliahan *Fundamental of Physics I* dari 23 mahasiswa yang

mengikuti perkuliahan tersebut, ketika diminta untuk menentukan apakah besaran luas termasuk besaran vektor atau skalar, tidak satupun mahasiswa menyatakan bahwa besaran luas sebagai besaran vektor.

Perlakuan tegas besaran luas sebagai besaran vektor dalam fenomena fisika antara lain dijumpai pada pembahasan fluks listrik, fluks magnet, dan persamaan integral Hukum Gauss yang mengaitkan besaran-besaran fluks listrik, medan listrik, dan luas (Griffiths, 2017; Serway & Jewett, 2018; Halliday, Resnick, & Walker, 2014; Giancoli, 2014). Dalam perkuliahan fisika matematika I di program studi pendidikan fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Mataram, pada pembahasan integral permukaan juga secara tegas memperlakukan besaran luas sebagai besaran vektor. Arah permukaan ditunjukkan oleh vektor normal permukaan tersebut (Young & Freedman, 2016). Melalui fenomena-fenomena di atas kepada mahasiswa mulai ditanamkan pemahaman bahwa besaran luas termasuk besaran vektor. Selanjutnya dilakukan penguatan pemahaman tersebut dengan memperlihatkan fenomena-fenomena di atas dan fenomena lainnya yang memperlihatkan bahwa besaran luas termasuk besaran vektor.

Fenomena-fenomena tersebut antara lain meliputi: (1) Penentuan sudut datang sinar pada permukaan batas suatu zat dengan zat lain, (2) Persamaan fluks listrik (termasuk penggunaan persamaan hukum Gauss dalam bentuk integral) atau fluks magnet dalam besaran luas dan kuat medan listrik atau magnet (Feynman, Leighton, & Sands, 2011; Serway & Jewett, 2018; Halliday, Resnick, & Walker, 2014; Giancoli, 2014), dan (3) Nilai luas persegi panjang yang dibentuk oleh dua vektor sebagai sisi panjang dan sisi lebarnya. Selanjutnya, masing-masing fenomena di atas dibahas secara lebih mendalam untuk meyakinkan mahasiswa bahwa besaran luas sebagai besaran vektor, serta (4) Persamaan tekanan dalam representasi gaya dan luas. Pada bagian keempat ini, selain memperlihatkan besaran luas dibahas pula bahwa besaran tekanan sebagai besaran vektor (Halliday, Resnick, & Walker, 2014; Giancoli, 2014).

B. Permasalahan Mahasiswa

Berdasarkan hasil studi awal, pada dasarnya mahasiswa angkatan Tahun Ajaran 2013-2014 secara umum dalam pembelajaran sebelumnya baik pada jenjang Perguruan Tinggi maupun pada jenjang

pendidikan Sekolah Menengah Atas dan Sekolah Menengah Pertama mengaku mendapat informasi bahwa besaran Luas adalah termasuk besaran skalar. Terlepas dari masalah bahwa miskonsepsi tersebut diterima oleh mahasiswa atau karena mereka yang keliru dalam menerima penjelasan dari guru atau dosen, yang jelas mahasiswa saat itu memiliki persepsi dengan keyakinan kuat bahwa luas sebagai besaran skalar.

Melalui kegiatan pengabdian ini, diharapkan para mahasiswa calon guru di Pendidikan Fisika Universitas Mataram memiliki pemahaman komprehensif tentang konsep vektor besaran luas.

C. Perumusan Masalah

Sesuai dengan paparan di atas, maka dalam kegiatan pengabdian ini dirumuskan masalah pengabdian sebagai berikut: Bagaimana strategi membuktikan bahwa luas adalah termasuk besaran vektor?

D. Tujuan Kegiatan

Tujuan pengabdian pada masyarakat ini adalah:

1. Menganalisis pengertian besaran vektor dan besaran skalar, dan
2. Mengenalkan strategi pembuktian tersebut kepada mahasiswa calon guru fisika di Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP), Universitas Mataram.

E. Manfaat Kegiatan

Kegiatan pengabdian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, bagi para mahasiswa calon guru Fisika pada umumnya, yaitu untuk:

1. Pengenalan pengertian besaran vektor dan skalar,
2. Mengkaji beberapa contoh penerapan besaran luas sebagai besaran vektor dalam pembelajaran fisika, dan
3. Sebagai penunjang pemahaman komprehensif materi fisika yang pembahasannya melibatkan penggunaan besaran luas sebagai besaran vektor.

Metode

A. Tahapan Pemecahan Masalah

Untuk memecahkan masalah di atas perlu diadakan pengabdian kepada para mahasiswa calon guru fisika di Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Mataram untuk menumbuhkan pemahaman komprehensif tentang status luas sebagai besaran vektor dan cara menerapkan dalam

operasi matematik yang melibatkan besaran luas. Implementasi besaran luas sebagai besaran vektor memiliki peran penting sebagai upaya memberikan pemahaman komprehensif tentang kosen-konsep fisika dengan dukungan penggunaan persamaan fisika yang melibatkan besaran vektor luas. Selanjutnya, sebagai penguatan pemahaman mahasiswa tentang status luas sebagai besaran vektor, dalam pembahasan ini disajikan contoh fenomena-fenomena fisika yang melibatkan besaran luas dan secara tegas memperlihatkan keharusan memperlakukan luas sebagai besaran luas dalam fenomena tersebut.

Secara rinci kerangka pengabdian adalah sebagai berikut: 1) **Kondisi saat ini** persepsi mahasiswa tentang besaran luas bukan sebagai vektor. **Kegiatan**, menggali persepsi mahasiswa calon guru tentang status luas sebagai besaran vektor. **Diharapkan**, tim pengabdian memiliki analisis dan mendeskripsikan pengertian tentang besaran vektor dan cara mengoperasikan besaran vektor, khususnya perkalian antara dua buah besaran vektor beserta hasilnya; 2) **Kondisi saat ini**, pendekatan penyelesaian masalah fisika tidak berinterferensi konstruktif dengan konsep operasi besaran vektor meskipun dalam penyelesaian masalah tersebut memerlukan operasi perkalian dua buah vektor atau lebih. **Kegiatan**, menyosialisasikan pentingnya mengingatkan kembali kaidah-kaidah aljabar vektor saat menyelesaikan masalah fisika yang melibatkan perkalian lebih dari satu besaran vektor. **Diharapkan**, mahasiswa calon guru fisika Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram memiliki pemahaman komprehensif operasi perkalian besaran vektor dan implementasinya dalam pembelajaran fisika; 3) **Kondisi saat ini**, belum banyak karya ilmiah yang fokus membahas pentingnya memiliki konsep yang benar tentang besaran luas sebagai vektor. **Kegiatan**, penyusunan strategi menempatkan konsep luas sebagai besaran vektor dalam setiap pembelajaran fisika, serta dalam perangkat pendukungnya agar mahasiswa calon guru fisika memiliki komitmen memperlakukan luas sebagai besaran vektor dalam pembelajaran fisika. **Diharapkan**, tersusun dokumen-dokumen pendukung pembelajan fisika yang memiliki konsep benar tentang besaran luas.

B. Khalayak Sasaran Antara yang Strategis

Kegiatan pengabdian pada masyarakat ini melibatkan beberapa anggota pengelola, dosen, dan mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram. Adapun yang menjadi sasaran kegiatan pengabdian adalah Pengenalan dan Penerapan luas sebagai besaran vektor dalam pembelajaran fisika.

C. Kriteria Kegiatan

Dilematika peningkatan kualitas pendidikan yang harus linear dengan penyelenggaraan pembelajaran yang hingga kini belum terwujud secara utuh, khususnya penyelenggaraan pendidikan yang berkualitas, sebagaimana dijadikan sebagai salah satu tujuan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) dimensi keempat.

Khususnya, dalam rangka mencegah terjadinya miskonspsi konsep-konsep ilmu, termasuk ilmu fisika, diperlukan kajian fisika dan pembelajarannya secara komprehensif dan konstruktif. Komprehensif dalam arti memiliki elaborasi luas dan mendalam dengan argument-argument ilmiah dan rasional. Konstruktif dimaknai bahwa saat pembelajaran sebaiknya konsep-konsep fisika dihubungkan secara konstruktif sehingga setiap konsep fisika tertentu dengan konsep fisika lainnya bersifat saling menguatkan.

D. Metode Kegiatan

Pengabdian ini menggunakan metode analisis literatur, presentasi, dan pembahasan secara terbuka bagi para mahasiswa calon guru di Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram.

E. Evaluasi

Evaluasi ditujukan untuk memanfaatkan informasi yang diperoleh sebagai acuan dalam menentukan kegiatan selanjutnya. Evaluasi ini direncanakan dilakukan pada bagian proses pelaksanaan dan bagian akhir kegiatan dengan cara mengidentifikasi respon peserta pengabdian. Evaluasi tentang respon tersebut dijanging melalui pertanyaan secara langsung dalam perkuliahan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Kegiatan: Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan di kelas Fisika Matematika 1, Semester Genap Tahun 2013, pada mahasiswa

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram. Peserta sebanyak 64 mahasiswa calon guru, serta di kelas Fisika Dasar 1 yang diikuti 23 mahasiswa calon guru fisika.

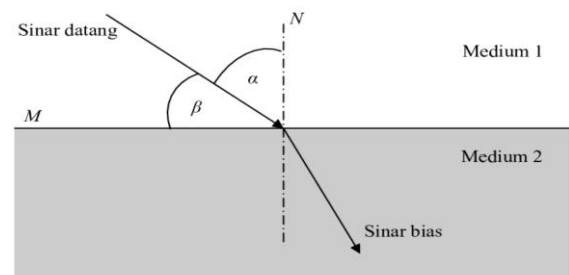
Di kelas Fisika Matematika 1 (64 orang) maupun Fisika Dasar 1 (23 orang), saat diajukan pertanyaan tentang status luas sebagai besaran vektor atau scalar, 100% mahasiswa menyatakan “skalar” tidak ada satupun yang menjawab “vektor”.

Pembahasan: Perlakuan tegas besaran luas sebagai besaran vektor dalam fenomena fisika antara lain dijumpai pada pembahasan fluks listrik, fluks magnet, dan persamaan integral Hukum Gauss yang mengaitkan besaran-besaran fluks listrik, medan listrik, dan luas (Halliday, Resnick, & Walker, 2014; Griffiths, 2017). Dalam perkuliahan fisika matematika I di program studi pendidikan fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Mataram, pada pembahasan integral permukaan juga secara tegas memperlakukan besaran luas sebagai besaran vektor. Arah permukaan ditunjukkan oleh vektor normal permukaan tersebut (Young & Freedman, 2016). Melalui fenomena-fenomena di atas kepada mahasiswa mulai ditanamkan pemahaman bahwa besaran luas termasuk besaran vektor. Selanjutnya dilakukan penguatan pemahaman tersebut dengan memperlihatkan fenomena-fenomena di atas dan fenomena lainnya yang memperlihatkan bahwa besaran luas termasuk besaran vektor.

Fenomena-fenomena tersebut antara lain meliputi: (1) Penentuan sudut datang sinar pada permukaan batas suatu zat dengan zat lain, (2) Persamaan fluks listrik (termasuk penggunaan persamaan hukum Gauss dalam bentuk integral) atau fluks magnet dalam besaran luas dan kuat medan listrik atau magnet (Tipler & Mosca, 2008; Giancoli, 2014), dan (3) Nilai luas persegi panjang yang dibentuk oleh dua vektor sebagai sisi panjang dan sisi lebarnya. Selanjutnya, masing-masing fenomena di atas dibahas secara lebih mendalam untuk meyakinkan mahasiswa bahwa besaran luas sebagai besaran vektor, serta (4) Persamaan tekanan dalam representasi gaya dan luas (Halliday, Resnick, & Walker, 2014). Pada bagian keempat ini, selain memperlihatkan besaran luas dibahas pula bahwa besaran tekanan sebagai besaran vektor.

Pembahasan fenomena 1: Bukti besaran luas sebagai besaran vektor dalam fenomena

penentuan sudut datang sinar pada permukaan batas dua zat berbeda diperlihatkan dalam Gambar x1.



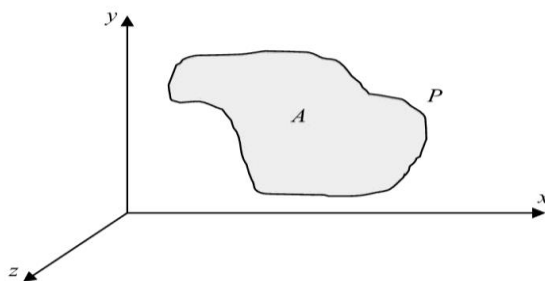
Gambar X1 Fenomena Penentuan Sudut Datang dari Sebuah Sinar yang Datang dari Medium 1 ke Medium 2 dengan Medium 1 Lebih Renggang daripada Medium 2.

Gambar x1 memperlihatkan fenomena sinar datang dari medium 1 (kurang rapat) ke medium 2 (lebih rapat). Garis *M* terletak pada bidang permukaan batas antara medium 1 dan medium 2 dan berimpit dengan garis hasil proyeksi dari sinar datang dan sinar bias pada bidang tersebut sedangkan garis *N* adalah garis normal bidang permukaan batas tersebut (Young & Freedman, 2016). Sudut β adalah sudut terkecil yang dibentuk oleh garis sinar datang dan garis *M* sedangkan sudut α adalah sudut terkecil yang dibentuk oleh sinar datang dan garis *N*. Pada fenomena ini, garis *M* merupakan sebuah garis dari garis-garis yang terletak pada bidang permukaan batas antara medium 1 dan medium 2 yang memiliki sudut terkecil terhadap sinar datang. Hal ini dibenarkan karena garis *M* merupakan garis proyeksi sinar datang tersebut pada bidang permukaan batas medium 1 dan medium 2.

Penentuan sudut datang sinar: Pada fenomena sebagaimana diperlihatkan pada Gambar x1, manakah yang dimaksud dengan sudut datang sinar. Dalam ilmu fisika disepakati bahwa sudut datang sinar terhadap bidang permukaan batas dalam fenomena di atas adalah α bukan β (Halliday, Resnick, & Walker, 2014). Jadi acuan yang digunakan dalam menentukan sudut datang sinar adalah garis normal bidang (garis *N*) bukan garis proyeksi sinar datang tersebut pada bidang permukaan batas (garis *M*). Peristiwa ini dikarenakan garis normal *N* merupakan vektor dari permukaan bidang tersebut. Arah vektor garis normal *N* dari bidang permukaan batas dapat vertikal ke atas atau vertikal ke bawah. Jadi sudut datang sinar sebagaimana diperlihatkan pada Gambar x1, yaitu α , merupakan sudut yang

dibentuk oleh vektor sinar datang dan vektor garis normal N yang berarah vertikal ke bawah.

Uraian pada alinea di atas, secara tidak langsung memperlihatkan bahwa besaran fisika luas adalah termasuk besaran vektor. Bukti-bukti besaran luas sebagai besaran vektor akan diperlihatkan lebih lanjut pada pembahasan dua fenomena lainnya, yaitu fenomena nomor (2) dan (3).



Gambar X2 Fenomena permukaan bidang P berluas A terletak pada bidang xoy .

Pembahasan fenomena 2: Bukti besaran luas sebagai besaran vektor dalam fenomena fluks listrik dan fluks magnet. Pada dasarnya konsep fluks listrik dan magnet tidak berbeda. Keduanya berkenaan dengan jumlah garis medan (garis konseptual) yang memasuki suatu penampang luas tertentu. Agar menjadi lebih jelas, pembahasan fluks listrik dan magnet tersebut akan dilakukan secara terpisah.

Fluks listrik: Untuk memahami pengertian fluks listrik perhatikan fenomena dalam Gambar x2. Gambar x2 memperlihatkan bidang P berluas A terletak pada bidang xoy . Misal dalam sistem koordinat xyz tersebut terdapat medan listrik E berarah ke sumbu z positif atau ke sumbu z negatif. Dengan asumsi kuat medan E tersebut konstan, dalam dua arah medan listrik E tersebut jumlah garis medan listrik yang memasuki bidang P adalah terbanyak dibandingkan apabila arah medan listrik E tersebut membentuk sudut tertentu (bukan nol atau 180°) terhadap sumbu z . keadaan ekstrim, yaitu tidak ada satu pun garis medan E yang memasuki bidang P , terjadi ketika medan listrik E membentuk sudut 90° terhadap sumbu z . Fenomena ekstrim ini terjadi karena ketika medan listrik E tersebut membentuk sudut 90° terhadap sumbu z proyeksi luas permukaan bidang P pada suatu bidang yang tegak lurus terhadap medan listrik E adalah nol. Hal ekstrim sebaliknya, yaitu ketika jumlah garis medan E yang memasuki bidang P terbanyak, terjadi ketika sudut medan listrik E membentuk sudut 0°

atau 180° terhadap sumbu z . hal ini terjadi karena proyeksi luas permukaan bidang P pada suatu bidang yang tegak lurus terhadap medan listrik E adalah sama dengan luas A itu sendiri.

Dalam perspektif lainnya, proyeksi luas permukaan bidang P terhadap suatu bidang yang tegak lurus arah medan listrik E yang membentuk suatu sudut α terhadap sumbu z adalah sama dengan $A \cos \alpha$. Jika dikaitkan dengan dua keadaan ekstrim di atas, pada keadaan ekstrim pertama hasil $A \cos \alpha$ dapat A atau $-A$. Hasil pertama A berkenaan dengan nilai $\alpha = 0^\circ$ sedangkan hasil kedua $-A$ berkenaan dengan nilai $\alpha = 180^\circ$. Dengan mengabaikan tanda negatif pada hasil kedua untuk $A \cos \alpha$, maka kedua hasil tersebut bernilai maksimal A yaitu sama dengan luas permukaan bidang P itu sendiri. Hal sebaliknya terjadi pada keadaan ekstrim kedua, yaitu hasil dari $A \cos \alpha$ adalah nol yaitu berkenaan dengan nilai $\alpha = 90^\circ$.

Dalam persamaan matematis, fluks listrik (Φ) dalam representasi kuat medan listrik E , luas A , dan sudut α adalah

$$\Phi = EA \cos \alpha$$

Besaran fisika fluks Φ adalah besaran skalar sedangkan medan listrik E adalah besaran vektor (Griffiths, 2017; Purcell & Morin, 2013). Dari kaidah perkalian untuk besaran vektor, diperoleh bahwa suatu besaran skalar tidak mungkin dihasilkan dari perkalian sebuah besaran vektor dengan sebuah besaran skalar atau dengan suatu konstanta. Dalam perspektif lain, perkalian suatu besaran vektor dapat menghasilkan besaran skalar hanya jika pengalinya juga besaran vektor dan metode perkaliannya menggunakan perkalian skalar.

Dengan mengaitkan fluks listrik sebagaimana diperlihatkan pada persamaan (x1) dengan dua kaidah sebagaimana dibahas dalam alinea di atas mengharuskan besaran luas A sebagai besaran vektor Serway & Jewett, 2018; Young & Freedman, 2016). Jadi pada ruas kanan persamaan (x1) terdapat dua besaran vektor yang dikalikan dengan metode skalar, yaitu besaran E dan A . Sementara pada ruas kiri dalam persamaan (x1) tersebut terdapat sebuah besaran skalar Φ . Perkalian dengan metode skalar antara besaran vektor E dan A menghasilkan suatu besaran skalar Φ yang memenuhi persamaan sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (x1), yaitu $\Phi = EA \cos \alpha$. Pada fenomena ini α merupakan sudut yang dibentuk oleh vektor medan listrik E dan vektor luas A yang

arahnyanya ditunjukkan oleh vektor normal N dari bidang P tersebut, yaitu berarah ke sumbu z positif (Halliday, Resnick, & Walker, 2014).

Representasi Fluks Listrik dalam Integral Gauss: Integral Gauss dalam pembahasan fluks listrik menggambarkan hasil integral dari perkalian skalar atau perkalian titik dua vektor, medan listrik E dan luas A , pada suatu permukaan tertutup (permukaan Gauss). Hasil dari integral tersebut dapat nol atau bernilai tertentu. Hasil nol terjadi apabila pada bagian permukaan Gauss yang didefinisikan tidak terdapat muatan listrik. Apabila di dalam permukaan Gauss tersebut terdapat muatan listrik, misal Q , maka hasil integral Gauss tersebut sama dengan nilai muatan listrik tersebut dibagi dengan permeabilitas (ϵ) medium di sekitar muatan tersebut di dalam permukaan Gauss. Jika di sekitar muatan listrik tersebut tidak terdapat medium (hampa) maka permeabilitasnya diberi simbol ϵ_0 .

Dalam bentuk persamaan, integral Gauss tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\oint E \cdot dA = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\oint E \cdot dA = 0$$

Dalam persamaan x.x1 dan x.x2 E menyatakan vektor medan listrik, A vektor luas, Q nilai muatan listrik yang tercakup di dalam permukaan Gauss, dan ϵ_0 sebagai permeabilitas ruang hampa, pada persamaan di atas diasumsikan bahwa di dalam permukaan Gauss tidak terdapat udara. Persamaan x.x1 digunakan apabila di dalam permukaan Gauss yang didefinisikan terdapat muatan listrik Q sedangkan persamaan x.x2 digunakan apabila di dalam permukaan Gauss tidak terdapat muatan listrik.

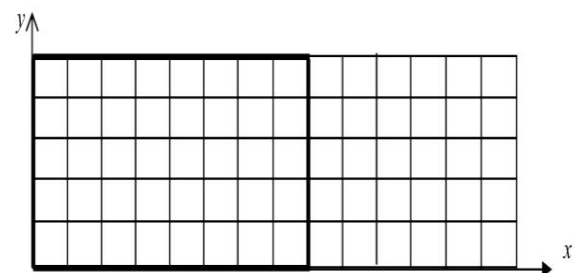
Kedua persamaan di atas secara tegas menempatkan besaran luas sebagai besaran vektor. Penggunaan perkalian skalar atau perkalian titik dalam persamaan tersebut memperlihatkan bahwa kedua besaran fisika yang dikalikan termasuk besaran vektor. Fakta ini semakin menguatkan bahwa besaran luas memang benar sebagai besaran vektor (Serway & Jewett, 2018).

Jadi uraian fluks listrik di atas semakin menguatkan bahwa besaran luas adalah termasuk besaran vektor bukan besaran skalar. Seperti besaran vektor lainnya, besaran vektor luas juga harus memiliki arah. Arah vektor luas dinyatakan oleh arah normal bidang luas tersebut. Dalam fenomena bidang permukaan sebagaimana

diperlihatkan dalam Gambar x1, bidang P yang terletak pada bidang xoy memiliki arah vektor sama dengan arah vektor normal bidang P tersebut, yaitu berarah ke sumbu z positif.

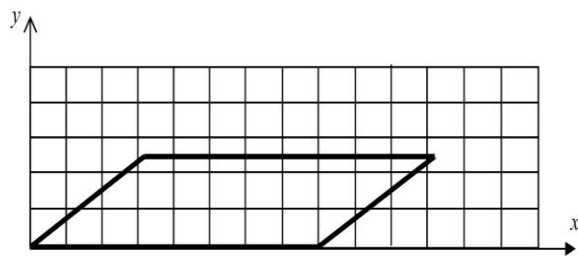
Fluks magnet: Fenomena fluks magnet pada dasarnya sama dengan fenomena fluks listrik sebagaimana telah dibahas dalam uraian di atas. Perbedaanannya, pada fluks listrik besaran fisika yang digunakan adalah kuat medan listrik E sedangkan pada fenomena fluks magnet besaran yang digunakan adalah kuat medan magnet B . Dengan mengganti besaran E oleh B , persamaan matematis fluks magnet (Φ) dalam representasi kuat medan listrik B , luas A , dan sudut α adalah:

$$\Phi = BA \cos \alpha \quad (x2)$$



Gambar x3 Bangun Empat Persegi Panjang dengan Keempat Sudutnya Siku-siku

Selanjutnya dengan mengaitkan persamaan (x2) pada kaidah besaran perkalian vektor sebagaimana telah digunakan dalam uraian fluks listrik dapat disimpulkan bahwa dalam fenomena fluks magnet ini besaran luas A adalah termasuk besaran vektor. Jadi fenomena fluks magnet ini semakin menguatkan kita bahwa besaran luas benar-benar merupakan besaran vektor. Pada ruas kanan persamaan (x2) terdapat dua besaran vektor yang dikalikan dengan metode skalar, yaitu besaran B dan A . Sementara pada ruas kiri dalam persamaan (x2) tersebut terdapat sebuah besaran skalar Φ . Perkalian dengan metode skalar antara besaran vektor B dan A menghasilkan suatu besaran skalar Φ yang memenuhi persamaan sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (x2), yaitu $\Phi = BA \cos \alpha$. Pada fenomena ini α merupakan sudut yang dibentuk oleh vektor medan magnet B dan vektor luas A yang arahnyanya ditunjukkan oleh vektor normal N dari bidang P tersebut, yaitu berarah ke sumbu z positif.



Gambar x4 Bangun Empat Persegi Panjang dengan Dua Sudut Lancip dan Dua Sudut Tumpul

Pembahasan fenomena 3: Bukti besaran luas sebagai besaran vektor dalam fenomena penentuan nilai luas empat persegi panjang. Agar pembahasan ini menjadi lebih jelas, perhatikan dua bangun empat persegi panjang pada Gambar x3 dan Gambar x4.

Bangun pada Gambar x3 dan Gambar x4 masing-masing bangun empat persegi panjang bersudut siku-siku dan bersudut lancip dan tumpul terletak dalam sistem koordinat kartesian dengan sisi kiri-bawah kedua bangun tersebut berimpit dengan pusat masing-masing sistem koordinat. Kedua bangun tersebut memiliki dua pasang sisi yang sama panjang. Sisi-sisi yang terletak pada bagian bawah dan atas pada Gambar x3 dan Gambar x4 sama panjang (berpanjang delapan kotak) demikian pula sisi-sisi yang terletak pada bagian kiri dan kanan

an dalam kedua gambar tersebut sama panjang (berpanjang lima kotak). Yang membedakan kedua bangun tersebut adalah seluruh sudut bangun empat persegi panjang pada Gambar x3 siku-siku atau 90° sedangkan pada Gambar x4 bangun tersebut memiliki dua pasang sudut lancip dan tumpul. Sudut pada bagian kiri-bawah sama dengan pada bagian kanan-atas, yaitu bersudut lancip (sekitar 30°) sedangkan sudut pada bagian kiri-atas sama dengan pada bagian kanan-bawah, yaitu bersudut tumpul (sekitar 150°).

Untuk membahas bagaimana hubungan besaran luas tersebut sebagai besaran vektor, dibuat pemisalan pada kedua bangun di atas sebagai berikut: (1) Pada bangun pertama (Gambar x3) terdapat vektor panjang A berarah ke sumbu-x positif dan bernilai sama dengan panjang sisi horizontal bangun tersebut. Selain itu, terdapat vektor panjang B berarah ke sumbu-y positif dan bernilai sama dengan panjang sisi vertikal bangun tersebut; dan (2) Pada bangun kedua (Gambar x4)

terdapat vektor panjang P berarah ke sumbu-x positif dan bernilai sama dengan panjang sisi horizontal bangun tersebut. Selain itu, terdapat vektor panjang Q berarah meninggalkan titik pusat koordinat dan sejajar dengan sisi kiri bangun tersebut, serta bernilai sama dengan panjang sisi kiri dan kanan bangun tersebut;

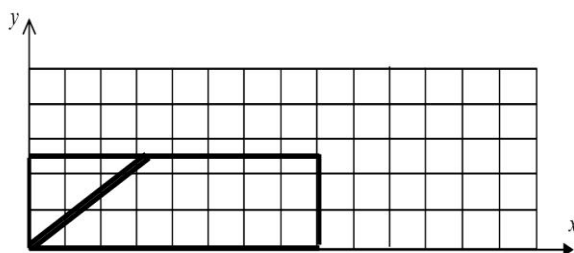
Selanjutnya kedua vektor pada masing-masing bangun dikalikan secara vektor (perkalian vektor atau perkalian silang) (Arfken, Weber, & Harris, 2013; Boas, 2006). Misal pada bangun pertama (Gambar x3) vektor A dikalikan secara vektor dengan vektor B , atau $A \times B$. Pada bangun kedua (Gambar x4) vektor P dikalikan secara vektor dengan vektor Q , atau $P \times Q$. Perkalian kedua pasang vektor tersebut misal pada perkalian pertama dihasilkan vektor baru C dan pada perkalian kedua dihasilkan vektor baru R .

Berdasarkan aturan perkalian dua buah vektor secara silang atau vektor (perkalian silang atau perkalian vektor), jika vektor U dikalikan secara vektor terhadap vektor V atau $(U \times V)$ dan kedua vektor tersebut membentuk sudut α maka akan dihasilkan sebuah vektor baru (dalam contoh ini dinamakan vektor W) yang bernilai sama dengan hasil kali nilai U dengan nilai V dan dengan nilai sinus α , atau $W = UV \sin \alpha$. Sementara arah dari vektor hasil, W ditentukan menggunakan aturan sekrup putar kanan, yaitu apabila ujung vektor U melalui sudut terkecil ditarik (dengan pangkal vektor U dikondisikan tetap) sehingga ujung tersebut terletak pada garis kerja vektor V dan ternyata perputaran ujung vektor U itu searah rotasi jarum jam dan arah ini sama dengan arah rotasi (dilihan dari bagian belakang sekrup) sekrup juga searah rotasi jarum jam maka arah maju sekrup tersebut menunjukkan arah dari vektor hasil W . Dengan dasar itu, hasil perkalian dua pasang vektor pada pemisalan dalam Gambar x3 dan Gambar x4 masing-masing vektor C dan R adalah sebagai berikut:

Vektor C bernilai $AB \sin 90^\circ$ yaitu sama dengan $8 \text{ kotak} \times 5 \text{ kotak} \times 1 = 40 \text{ kotak}$ sedangkan vektor R bernilai $PQ \sin 30^\circ$ yaitu sama dengan $8 \text{ kotak} \times 5 \text{ kotak} \times 0,5 = 20 \text{ kotak}$. Sementara arah vektor C dan R sama, yaitu tegak lurus menjauhi bidang gambar. Untuk menentukan arah kedua vektor ini, misal pada fenomena pertama, tarik atau putar ujung vektor A dengan pangkalnya dikondisikan tetap hingga ujung vektor ini terletak pada garis kerja vektor B dan arah rotasi ini

dianalogikan dengan rotasi sekrup putar kanan maka arah vektor C sama dengan arah maju atau mudurnya sekrup tersebut dan dalam fenomena ini sekrup akan bergerak tegak lurus menjauhi bidang gambar x3. Pada fenomena kedua, hal serupa dilakukan pada vektor P hingga ujungnya terletak pada garis kerja vektor Q . Dengan menganalogikan gerak rotasi ujung vektor P sama dengan gerak rotasi sekrup putar kanan maka diperoleh bahwa vektor R sebagai hasil dari perkalian $P \times Q$ adalah berarah tegak lurus menjauhi bidang Gambar x4.

Bagaimanakah hubungan penjelasan di atas dengan pernyataan bahwa besaran luas sebagai besaran vektor? Untuk menjawab pertanyaan ini mari kita tinjau hubungan nilai vektor C dan R sebagaimana telah dijelaskan di atas dengan gambar dua bangun empat persegi panjang pada Gambar x3 dan Gambar x4. Menurut Gambar x3 bangun empat persegi panjang pada gambar tersebut memiliki luas 40 kotak. Hal ini sangat jelas dapat dilihat dari jumlah kotak kecil yang berada di dalam bangun tersebut. Fakta ini memperlihatkan bahwa sebenarnya luas bangun empat persegi panjang pada Gambar x3 dapat diperoleh menggunakan persamaan $AB \sin 90^\circ$ sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Sementara persamaan tersebut sebenarnya merupakan nilai dari suatu vektor yang dihasilkan dari perkalian silang atau perkalian vektor untuk vektor A dan B .



Gambar x5 Bangun Empat Persegi Panjang dengan Keempat Sudutnya Siku-siku

Pada bangun empat persegi panjang pada Gambar x4, hal serupa juga berlaku. Dengan indra penglihatan kita cukup sulit untuk menghitung secara pasti berapa kotak luas yang berada di dalam bangun ini. Tetapi dengan cara memindahkan bangun segitiga yang berada di kanan, yaitu bangun segitiga yang dibentuk mulai dari kotak ke Sembilan hingga ujung bangun bagian kanan, ke ruang kiri yang kosong, yaitu dengan cara meletakkan bagian sisi miring pada bangun segitiga

yang dipindahkan berimpit dengan sisi miring bagian kiri bangun itu, maka dapat diperoleh bangun baru berupa empat persegi panjang yang bersudut siku-siku atau 90° tetapi panjang sisi vertikalnya bukan lima kotak melainkan sekitar dua setengah kotak. Berdasarkan bangun empat persegi panjang yang baru ini (Gambar x5), dapat dihitung dengan mudah bahwa jumlah kotak kecil yang berada di dalam bangun ini sekitar 20 kotak. Nilai pendekatan ini digunakan karena nilai sudut antara vektor P dan Q tidak secara pasti 30° .

Fakta di atas memperlihatkan bahwa sebenarnya luas bangun empat persegi panjang pada Gambar x4 dapat diperoleh menggunakan persamaan $PQ \sin 30^\circ$ sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Sementara persamaan tersebut sebenarnya merupakan nilai dari suatu vektor yang dihasilkan dari perkalian silang atau perkalian vektor untuk vektor P dan Q .

Dua contoh tentang hubungan luas bangun empat persegi panjang dengan perkalian dua vektor secara silang atau secara vektor di atas dipandang cukup untuk dijadikan bukti bahwa besaran luas pada dasarnya merupakan besaran vektor. Adapun arah dari besaran luas tersebut dinyatakan oleh vektor normal bidang, yaitu sebuah vektor yang tegak lurus dengan permukaan bidang tersebut (Giancoli, 2014); Young & Freedman, 2016).

Kesimpulan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan tema penanaman konsep luas sebagai besaran vektor bagi mahasiswa calon guru fisika pada Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram, telah dilaksanakan dengan peserta mahasiswa peserta kuliah Fisika Matematika 1 dan Fisika Dasar 1. Peserta pengabdian mengalami perubahan persepsi tentang konsep luas sebagai besaran vektor yang sebelumnya seluruh mahasiswa menganggap sebagai besaran skalar.

Saran

Diharapkan dapat mengoptimalkan pembelajaran fisika dengan memperhatikan kebenaran setiap konsep keilmuannya. Khusus konsep luas sebagai besaran vektor, dalam pembelajaran yang melibatkan besaran itu, seperti fluks listrik, fluks magnet, gaya Lorentz, atau konsep fisika lainnya agar mengingatkan kembali kepada mahasiswa tentang kaidah-kaidah yang

berlaku aljabar vektor, khususnya perkalian dua vektor sehingga antara satu pembahasan dengan pembahasan lainnya akan terjadi saling konstruktif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa angkatan Tahun 2013-2014 Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram yang telah bersedia menjadi peserta serta seluruh pihak yang terlibat dalam kegiatan pengabdian ini.

Daftar Pustaka

- Arfken, G. B., Weber, H. J., & Harris, F. (2013). *Mathematical Methods for Physicists*. Academic Press.
- Boas, M. L. (2006). *Mathematical Methods in the Physical Sciences*. Wiley.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). *The Feynman Lectures on Physics* (Vol. 1). Addison-Wesley.
- Giancoli, D. C. (2014). *Physics: Principles with Applications* (7th ed.). Pearson.
- Griffiths, D. J. (2017). *Introduction to Electrodynamics* (4th ed.). Cambridge University Press.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers* (10th ed.). Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physics for Scientists and Engineers*. W.H. Freeman.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2016). *University Physics with Modern Physics* (14th ed.). Pearson.