

PERSEPSI MAHASISWA CALON GURU FISIKA TERHADAP TINGKAT KESULITAN MATERI PADA PERKULIAHAN FISIKA DASAR 2

Rahmawati^{1*}, Widiasih²

¹Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Muhammadiyah Makassar

²Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Terbuka

email: rahmawatisyam@unismuh.ac.id

Abstract: This study aims to collect information related to the perception of prospective physics teacher students on the subject matter of Basic Physics 2 course. This type of research is survey research with the descriptive statistics analysis. The research instrument was a questionnaire with a research sample of 90 physics teacher candidates spread across three grade levels and had contracted Basic Physics 2 course. The purpose of this information gathering was as a basis for determining the topic of the material to be studied further. The topics covered in this study include electric field, electric potential, capacitor, dielectric, electric current, magnetic field, magnetic induced, alternative current, wave properties, interference and diffraction, geometric optics, optical instruments, optical instruments, quantum physics, and atomic models. The results showed that the subject matter in the subject matter of Basic Physics 2 course which was perceived as very difficult and difficult was topics related to electricity and magnetism. The subject of magnetic field is perceived as very difficult and difficult by 62% and 38% of students, respectively. On the subject of electric current, magnetic effect, and alternating current, half of all students are perceived as difficult. The subject of electric current is considered difficult by 53% of students and very difficult by 29% of students, the subject of magnetic effects is perceived as difficult by 48% of students and 46%, while the subject of alternating current is considered difficult by 40% of students and very difficult by 42% student. The implication of the results of this study is to design a learning assessment strategy that can accommodate students to easily understand the subject matter of Basic Physics 2.

Keywords: level of difficulty; basic physics 2 course; student's perception; electricity; modern physics.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menjangar informasi terkait persepsi mahasiswa calon guru fisika pada materi perkuliahan Fisika Dasar 2. Jenis penelitian ini merupakan penelitian Survei dengan analisis penelitian berupa statistik deskriptif. Instrumen penelitian berupa angket dengan sampel penelitian sebanyak 90 mahasiswa calon guru fisika yang tersebar di tiga tingkatan kelas dan telah mengontrak mata kuliah Fisika Dasar 2. Penjangaran informasi terkait persepsi tingkat kesulitan pada materi subjek mata kuliah Fisika Dasar 2 dilakukan dengan mengadministrasikan angket kepada mahasiswa calon guru fisika. Tujuan dari penjangaran informasi ini adalah sebagai dasar penentuan topik materi yang akan diteliti lebih lanjut. Adapun sebaran topik materi yang diungkap dalam penelitian ini meliputi: medan gaya listrik, potensial listrik, kapasitor, dielektrik, arus listrik, medan magnet, imbas magnetik, arus bolak-balik, sifat-sifat gelombang, interferensi dan difraksi, optik geometris, alat-alat optik, fisika kuantum, dan model atom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pokok bahasan dalam materi perkuliahan Fisika Dasar 2 yang dipersepsikan sangat sulit dan sulit adalah topik terkait kelistrikan dan kemagnetan. Pokok bahasan medan magnet dipersepsikan sangat sulit dan sulit oleh mahasiswa sebanyak 62% dan 38%. Pada pokok bahasan arus listrik, imbas magnetik, dan arus bolak balik dipersepsikan sulit oleh separuh dari keseluruhan mahasiswa. Pokok bahasan arus listrik

dinyatakan sulit oleh 53% mahasiswa dan sangat sulit oleh 29% mahasiswa, pokok bahasan imbas magnetik dipersepsikan sulit oleh 48% mahasiswa dan 46%, sedangkan pokok bahasan arus bolak balik dinyatakan sulit oleh 40% mahasiswa dan sangat sulit oleh 42% mahasiswa. Implikasi dari hasil penelitian ini adalah merancang strategi asesmen pembelajaran yang dapat mengakomodasi mahasiswa agar mudah memahami materi perkuliahan Fisika Dasar 2.

Kata kunci: tingkat kesulitan materi; fisika dasar 2; persepsi mahasiswa; listrik; fisika modern.

Diterima: 10 Oktober 2022

Disetujui: 17 November 2022

Dipublikasi: 29 Desember 2022



© 2022 FKIP Universitas Terbuka

This is an open access under the CC-BY license

PENDAHULUAN

Mata kuliah Fisika Dasar 2 merupakan kelompok mata kuliah bidang keahlian dengan jumlah kredit sebanyak 4 sks yang terbagi dalam teori dan praktek dengan bobot sks masing-masing 2 sks. Mata kuliah ini merupakan mata kuliah prasyarat bagi kelompok mata kuliah keahlian program studi pada Program Studi Pendidikan Fisika S-1 yang disajikan pada tahun pertama semester kedua.

Mata kuliah Fisika Dasar 2 merupakan mata kuliah dasar bagi sejumlah mata kuliah tingkat yang lebih tinggi, seperti mata kuliah listrik magnet, gelombang, optik, dan fisika modern. Sebaran materi dalam mata kuliah fisika dasar 2 meliputi materi muatan listrik, medan listrik, gaya listrik, potensial listrik, kapasitor dan dielektrik, arus listrik, hukum ohm, dan rangkaian arus searah (dc), medan magnet dan imbas magnetik, arus bolak balik, sifat-sifat gelombang, interferensi dan difraksi gelombang, optik geometris, alat-alat optik, teori relativitas khusus, fisika kuantum, susunan atom dan molekul, dan susunan inti atomfisika modern. Secara garis besar, materi konten Fisika Dasar 2 terbagi atas lima kelompok materi, yaitu materi kelistrikan, kemagnetan, gelombang, optik, dan fisika modern. Dari kelima kelompok materi tersebut, kajian konsep-konsep kelistrikan dan kemagnetan memiliki persentase terbanyak dalam mata kuliah fisika dasar 2.

Paatz dkk. (2004) melakukan studi kasus pada seorang siswa tingkat sekolah menengah atas tentang konsep awal yang dimilikinya serta perubahan konsep yang terjadi mengenai aliran listrik pada rangkaian listrik sederhana arus searah. Konsep awal siswa tersebut tentang arus listrik dan sejumlah istilah berkaitan rangkaian listrik sederhana banyak mengalami miskonsepsi. Peneliti mencoba meminimalisir miskonsepsi tersebut dengan menerapkan suatu rangkaian pengajaran berbasis analogi dimana proses berpikir analogi pebelajar dimodelkan melalui rangkaian empat tahapan menurut teori pemetaan struktur menurut Gentner. Metode pengajaran berbasis berpikir logis mampu mengubah sejumlah miskonsepsi siswa menjadi lebih baik dan tepat. Di level pendidikan yang sama, Cosgrove (1995) meneliti pandangan siswa terkait konsep arus listrik dalam suatu rangkaian sederhana arus searah. Sejumlah konsep awal siswa tentang konsep aliran arus listrik bertentangan dengan konsep para ilmuwan. Miskonsepsi siswa terjadi pada konsep arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian tertutup berasal dari dua kutub kemudian mengalir secara bersamaan dalam arah yang berlawanan. Selain itu, siswa menganggap bahwa sebuah elemen tahanan listrik merupakan pengguna arus listrik bukan penghambat

arsu listrik dalam rangkaian. Sejumlah kesalahan konsep ini kemudian diatasi dengan sebuah pendekatan pembelajaran menggunakan pemodelan analogi umum. Penggunaan analogi umum secara bertahap ini mampu mengubah sejumlah konsep kelistrikan, misalnya konsep elemen tahanan dari konsep sebagai pengguna arus listrik menjadi konsep sebagai penghambat.

Pada level pendidikan perguruan tinggi, Finkelstein(2005) meneliti pembelajaran mahasiswa calon guru fisika yang sedang mengikuti mata kuliah listrik dan magnet dan konsepsi mahasiswa tentang kelistrikan dan kemagnetan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengintegrasian model pembelajaran berbasis konteks ke dalam proses perkuliahan listrik magnet memberikan peluang adanya perbaikan *conceptual change* (perubahan konsep) dari konsep awal yang dimiliki mahasiswa terkait konteks listrik dan magnet. Selain itu, model pembelajaran berbasis konteks mampu mengembangkan kemampuan mahasiswa dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan kelistrikan dan kemagnetan dengan karakteristik permasalahan bersifat konteks (*real life*) serta mampu mengembangkan kemampuan berpikir level yang lebih tinggi, misalnya kemampuan mahasiswa tidak hanya memikirkan apa yang sedang terjadi tetapi lebih pada mengapa dan bagaimana suatu fenomena konteks tersebut terjadi.

Penelitian serupa dilakukan oleh Zacharia & de Jong (2014) yang mencoba membandingkan penggunaan metode eksperimen berbasis manipulasi *virtual lab* (VM) dan manipulasi *real lab* (PM) terhadap pemahaman mahasiswa pada konsep rangkaian listrik arus searah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode eksperimen tersebut saling mempengaruhi satu sama lain terhadap pemahaman konsep mahasiswa. Akan tetapi, penggunaan metode VM jauh lebih baik dalam memberikan kontribusi terhadap pemahaman mahasiswa ketika dihadapkan pada soal rangkaian listrik yang lebih kompleks dibandingkan dengan metode PM. Ketika mahasiswa menerapkan metode VM sebelum metode PM untuk menyelesaikan persoalan rangkaian listrik kompleks, mahasiswa mampu mengembangkan model konseptual yang sesuai untuk kemudian digunakan pada bagian PM.

Bentuk-bentuk kesulitan di kalangan guru dalam memahami konsep kelistrikan dan kemagnetan telah dilakukan penelitian oleh sejumlah peneliti (Heller & Finley, 1992; Heywood & Parker, 1997; Hekkenberg,dkk.2015). Penelitian yang dilakukan oleh Hekkenberg dkk.(2015) yaitu menganalisis sejumlah konsep listrik dan magnet yang membingungkan bagi guru sains fisika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada enam kategori aspek dari konsep medan listrik dan medan magnet yang menyebabkan ketidakmampuan guru untuk membedakan antara kedua konsep tersebut menimbulkan kebingungan antar keduanya. Enam kategori konsep yang dimaksud adalah sumber medan listrik, sumber medan magnet, pengaruh medan listrik dan medan magnet pada materi, gaya listrik dan gaya magnet, serta arah gaya listrik dan gaya magnet.

Penelitian serupa dilakukan oleh Heller & Finley(1992). Dalam penelitiannya, Heller & Finley melakukan studi kasus tentang penggunaan variabel konsep alternatif guru sains sekolah dasar dan menengah pada materi kelistrikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hampir seluruh guru tidak tepat dan tidak konsisten dalam menjelaskan konsep arus listrik. Mereka tampak masih bingung dalam membedakan antara sejumlah konsep yang serupa, misalnya antara konsep arus, listrik, muatan, dan energi.

Berdasarkan sejumlah hasil penelitian dari jenjang pendidikan dasar sampai guru mengenai kesulitan yang dapat ditemukan dalam memahami konsep kelistrikan dan kemagnetan, menunjukkan bahwa materi kelistrikan dan kemagnetan merupakan salah satu materi dalam bidang fisika yang cukup sulit dan bersifat abstrak sehingga dibutuhkan strategi khusus dalam membelajarkannya. Oleh sebab itu, permasalahan ini dipandang penting untuk dilakukan pengkajian lebih lanjut melalui penelitian untuk memperoleh informasi tentang persepsi mahasiswa calon guru Fisika terhadap tingkat kesulitan materi perkuliahan Fisika Dasar 2.

METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif non-eksperimen tipe survei. Sampel dalam penelitian ini berjumlah 90 mahasiswa calon guru fisika yang tersebar di tiga tingkatan kelas yang telah atau sedang mengontrak mata kuliah Fisika Dasar 2. Instrumen penelitian yang digunakan dalam mengungkap persepsi mahasiswa terkait tingkat kesulitan mahasiswa dalam memahami materi perkuliahan Fisika Dasar 2 yaitu berupa kuesioner. Teknik analisis data yang digunakan berupa statistik deskriptif. Adapun persepsi tingkat kesulitan mahasiswa dikategorisasikan berdasarkan empat skala, yaitu sangat sulit, sulit, mudah, dan sangat mudah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Observasi dilakukan dengan mengadministrasikan kuesioner kepada mahasiswa calon guru fisika pada tingkat I, II, dan III tentang persepsi tingkat kesulitan pada muatan materi mata kuliah Fisika Dasar 2. Penjaringan informasi terkait persepsi tingkat kesulitan pada materi subjek mata kuliah Fisika Dasar 2 dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui persepsi mahasiswa dalam memahami materi perkuliahan Fisika Dasar 2 serta sebagai dasar penentuan topik materi penelitian lebih lanjut. Perolehan data terkait persepsi tingkat kesulitan yang beragam terhadap materi subjek Fisika Dasar 2 menjelaskan bahwa secara umum terdapat 65% mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami dan menganalisis materi pada topik-topik kelistrikan dan kemagnetan. Sebaran materi perkuliahan yang dipersepsikan sulit oleh mahasiswa ditampilkan dalam bentuk diagram batang pada Gambar 1.

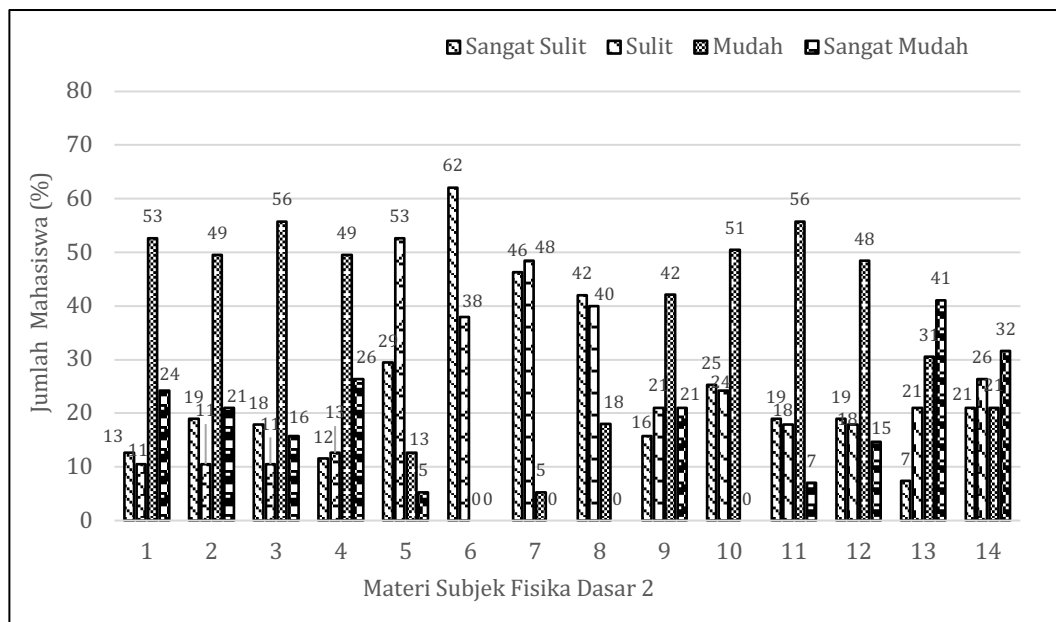
Pokok bahasan medan magnet dipersepsikan sangat sulit oleh hampir seluruh mahasiswa calon guru fisika yaitu sebanyak 62% dan sulit sebanyak 38%. Pada pokok bahasan arus listrik, imbas magnetik, dan arus bolak balik dipersepsikan sulit oleh separuh dari keseluruhan mahasiswa. Pokok bahasan arus listrik dinyatakan sulit oleh 53% mahasiswa dan sangat sulit oleh 29% mahasiswa, pokok bahasan imbas magnetik dipersepsikan sulit oleh 48% mahasiswa dan 46%, sedangkan pokok bahasan arus bolak balik dinyatakan sulit oleh 40% mahasiswa dan sangat sulit oleh 42% mahasiswa.

Pokok bahasan model atom, interferensi dan difraksi, sifat-sifat gelombang dan fisika kuantum dipersepsikan sulit oleh sebagian kecil mahasiswa calon guru fisika. Secara berurutan masing-masing sebanyak 26%, 24%, 21%, dan 21% mahasiswa

menyatakan sulit pada materi model atom, interferensi dan difraksi, sifat-sifat gelombang dan fisika kuantum dan sebanyak 21%, 25%, 16%, dan 7% sangat sulit.

Beberapa pokok bahasan pada Fisika Dasar 2 juga dipersepsikan oleh sebagian kecil mahasiswa yaitu pada materi optik geometris, alat-alat optik, dielektrik, potensial listrik, kapasitor, dan medan gaya listrik. Pada pokok bahasan optik geometris dan alat-alat optik masing-masing 18% dipersepsikan sulit oleh mahasiswa dan masing-masing 19% dipersepsikan sangat sulit oleh mahasiswa. Sementara itu, materi dielektrik, potensial listrik, kapasitor, dan medan gaya listrik secara berurutan masing-masing 13%, 11%, 11%, dan 11% dipersepsikan sulit oleh mahasiswa. Persentase mahasiswa yang mempersepsikan sangat sulit pada materi dielektrik, potensial listrik, kapasitor, dan medan gaya listrik secara berurutan yaitu 12%, 19%, 18%, dan 13%.

Berdasarkan sebaran persentase persepsi tingkat kesulitan mahasiswa terkait materi subjek Fisika Dasar 2, maka diambil beberapa sub topik materi dengan persentase paling dominan dipersepsikan oleh mahasiswa. Sejumlah sub materi subjek tersebut tergabung dalam satu topik materi yaitu kelistrikan dan kemagnetan sebagai materi mendasar dari sejumlah materi dalam mata kuliah Fisika Dasar 2.



Keterangan: 1 = medan gaya listrik, 2 = potensial listrik, 3 = kapasitor, 4 = dielektrik, 5 = arus listrik, 6 = medan magnet, 7 = imbas magnetik, 8 = arus bolak-balik, 9 = sifat-sifat gelombang, 10 = interferensi dan difraksi, 11 = optik geometris, 12 = alat-alat optik, 13 = fisika kuantum, 14 = model atom.

Gambar 1. Persepsi Mahasiswa terhadap Tingkat Kesulitan pada Materi Subjek Fisika Dasar 2

Selain itu, hasil diskusi dan wawancara terhadap dosen pengampu pada mata kuliah Fisika Dasar 2 dan mata kuliah Listrik dan Magnet menjelaskan bahwa kebanyakan mahasiswa kesulitan dalam memahami dan menganalisis materi kelistrikan dan kemagnetan meskipun telah diberikan penugasan individu dan kelompok dengan

mengerjakan soal-soal terkait topik kelistrikan dan kemagnetan (Rahmawati, dkk. 2017). Temuan ini selanjutnya ditindaklanjuti dengan pemberian tes pengetahuan konsep kepada sekelompok mahasiswa calon guru fisika yang telah lulus mata kuliah Fisika Dasar 2 terdiri atas 3 kelompok meliputi mahasiswa tingkat I, II, dan III. Karakteristik tes yang diberikan berupa tes fisis konseptual kelistrikan dan kemagnetan dalam bentuk tes pilihan ganda disertai alasan yang terdiri atas 40 butir soal yang telah dikembangkan sebelumnya dan melalui tahapan validasi teoritik dan empirik (Rahmawati, dkk. 2018).

Sifat abstrak materi kelistrikan dan kemagnetan menjadikan materi ini sulit dipahami mulai jenjang pendidikan tingkat dasar (Shipstone, 1988, 1984; Arnold & Millar, 1987; Osborne & Cosgrove, 1983; Osborne, 2006), tingkat menengah (Hekkenberg, dkk. 2015; Borges & Gilbert, 2010; Cosgrove, 1995; Cohen, dkk. 1983; Paatz, dkk. 2004; Psillos, dkk. 1987; Engelhardt & Beichner, 2004), tingkat perguruan tinggi (Finkelstein, 2005; Zacharia & de Jong, 2014; Stocklmayer & Treagust, 1996), hingga pada tingkat pendidik (guru) (Hekkenberg, dkk. 2015; Heller & Finley, 1992; Heywood & Parker, 1997). Untuk mengatasi kesulitan-kesulitan dalam memahami konsep kelistrikan dan kemagnetan, berbagai upaya telah dilakukan oleh para pelaku pendidik baik bersifat *single* maupun *multi* strategi dan pendekatan dalam pembelajaran. Meskipun tidak semua upaya dapat berhasil mengubah sejumlah kesulitan dalam memahami konsep-konsep kelistrikan dan kemagnetan menjadi lebih baik disebabkan adanya faktor lain yang ikut mempengaruhi tingkat keberhasilan seseorang dalam memahami konsep tersebut. Faktor-faktor penyebab ketidak sesuaian konsep peserta didik dengan konsep yang dimiliki oleh para ilmuwan dapat bersifat internal maupun eksternal.

Beberapa hasil penelitian mengungkapkan jenis-jenis kesalahan yang dominan muncul dalam memahami konsep-konsep pada materi kelistrikan dan kemagnetan sebagai bentuk kesulitan telah banyak dilakukan pada tingkat pendidikan dasar. Penelitian yang dilakukan Osborne (2006) tentang cara memodifikasi pemikiran peserta didik tingkat sekolah dasar pada konsep arus listrik yang dominan telah memiliki pengetahuan awal terkait konsep arus listrik sebelum masuk kelas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat model konsep yang berbeda tentang arus listrik dalam suatu rangkaian sederhana yang hanya terdiri dari sebuah lampu, baterai, dan kawat. Keempat model konsep arus listrik yang dimiliki oleh peserta didik yaitu 1) model pertama, yaitu tidak ada arus yang mengalir pada arah kembali ke sumber tegangan, 2) model kedua, anggapan bahwa kedua kutub sumber tegangan mengalirkan arus menuju bohlam pada arah yang berlawanan yang dapat menyebabkan bohlam suatu saat meledak, 3) model ketiga, terjadinya pengurangan arus listrik ketika arus mengalir kembali ke sumber tegangan, 4) model ke empat, terdapat arus yang sama besar ketika mengalir menuju dan meninggalkan sumber tegangan. Dari keempat model konsep tersebut, model keempat merupakan model konsep yang tepat sesuai dengan konsep ilmu pada dasarnya.

Temuan unik dalam penelitian tersebut menjelaskan bahwa peserta didik usia 8 sampai 12 tahun akan tetap mempertahankan konsep yang dimilikinya sejak awalnya sebelum masuk kelas. Meskipun telah diajarkan mengenai konsep arus listrik yang benar melalui pemodelan aliran arus listrik pada rangkaian listrik sederhana arus searah, peserta didik akan tetap kembali pada konsep awal yang mereka miliki. Adapun perubahan

konsep yang benar tentang arus listrik dimiliki hanya 40% dari jumlah keseluruhan peserta didik. Jumlah tersebut ternyata akan kembali mengalami kesalahan konsep ketika dihadapkan pada permasalahan baru dengan konsep yang serupa. Kesimpulan penelitian tersebut menyatakan bahwa peserta didik pada usia 8 sampai 12 tahun belum mampu secara utuh memahami konsep arus listrik yang bersifat abstrak.

Penelitian serupa yang dilakukan oleh Shipstone (1984) tentang model pemahaman konsep rangkaian listrik sederhana arus searah siswa sekolah menengah pertama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan pendekatan *model sequences* dalam mengajarkan konsep arus listrik searah pada rangkaian listrik sederhana dapat memperbaiki kesalahan konsep siswa tentang konsep aliran muatan listrik dalam rangkaian sederhana sekalipun diberikan persoalan-persoalan rangkaian listrik yang lebih kompleks. Lebih lanjut, Arnold & Millar (1987) mencoba mengubah konsep awal siswa sekolah menengah pertama yang bertentangan dengan konsep para ilmuwan tentang arus listrik searah pada rangkaian listrik sederhana. Model pengajaran konstruktivis digunakan dalam mengajarkan konsep arus listrik memberikan hasil berupa perubahan konsep dari konsep awal peserta didik yang sebelumnya keliru. Selain itu, penggunaan pendekatan pembelajaran konstruktivis dapat menggiatkan suasana kelas serta meningkatkan kemampuan siswa dalam membuat keputusan tentang konsep yang benar pada topik rangkaian listrik sederhana.

SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menggali informasi terkait persepsi mahasiswa calon guru fisika terkait tingkat kesulitan yang dialami dalam memahami materi Fisika Dasar 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa topik kelistrikan dan kemagnetan dominan dipersepsikan sangat sulit dan sulit oleh sebagian besar mahasiswa mulai dari tingkatan pertama sampai mahasiswa tingkatan tiga yang sedang dan telah mengontrak mata kuliah Fisika Dasar 2. Implikasi penelitian ini mengarahkan pada suatu upaya dalam penyiapan bentuk pembekalan Fisika Dasar 2 bagi mahasiswa calon guru Fisika untuk membantu mereka agar lebih mudah memahami materi Fisika Dasar 2, khususnya terkait topik kelistrikan dan kemagnetan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, M., & Millar, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal of Science Education*, 9(5), 553–563. <https://doi.org/10.1080/0950069870090505>
- Borges, A. T., & Gilbert, J. K. (2010). Mental Models of Electricity. *International Journal of Mental Models of Electricity*, January 2015, 37–41. <https://doi.org/10.1080/095006999290859>
- Cohen, R., Eylon, B., & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), 407–412. <https://doi.org/10.1119/1.13226>
- Cosgrove, M. (1995). A study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity. *International Journal of Science Education*, 17(3), 295–301. <https://doi.org/10.1080/0950069950170303>
- Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current

- resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98–115. <https://doi.org/10.1119/1.1614813>
- Finkelstein, N. (2005). Learning Physics in Context: A study of student learning about electricity and magnetism. *International Journal of Science Education*, 27(10), 1187–1209. <https://doi.org/10.1080/09500690500069491>
- Hekkenberg, A., Lemmer, M., & Dekkers, P. (2015). An Analysis of Teachers' Concept Confusion Concerning Electric and Magnetic Fields. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology*, 8457(January 2016), 34–44. <https://doi.org/10.1080/10288457.2015.1004833>
- Heller, P. M., & Finley, F. N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: A case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 259–275. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290306>
- Heywood, D., & Parker, J. (1997). Confronting the analogy: Primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *International Journal of Science Education*, 19(8), 869–885. <https://doi.org/10.1080/0950069970190801>
- Osborne, R. (1983). Towards Modifying Children's Ideas about Electric Current. *Research in Science & Technological Education*, 1(1), 73–81.
- Paatz, R., Ryder, J., Schwedes, H., & Scott, P. (2004). A case study analysing the process of analogy-based learning in a teaching unit about simple electric circuits. *International Journal of Science Education*, 26(9), 1065–1081. <https://doi.org/10.1080/1468181032000158408>
- Psillos, D., Koumaras, P., & Valassiades, O. (1987). Pupils' Representations of Electric Current before, during and after Instruction on DC Circuits. *Research in Science & Technological Education*, 5(2), 185–199. <https://doi.org/10.1080/0263514870050209>
- Rahmawati, Rustaman, N. Y., Hamidah, I., & Rusdiana, D. (2018). The Development and Validation Test to Evaluation Conceptual Knowledge of Prospective Physics Teachers on Electricity and Magnetism Topic. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(4), 483–490. <https://doi.org/10.15294/jpii.v7i4.13490>
- Shipstone, D. (1988). Pupils' understanding of simple electrical circuits. Some implications for instruction. *Physics Education*, 23(2), 92–96. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/23/2/004>
- Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple dc circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185–198. <https://doi.org/10.1080/0140528840060208>
- Stockmayer, S. M., & Treagust, D. F. (1996). Images of electricity: How do novices and experts model electric current? *International Journal of Science Education*, 18(2), 163–178. <https://doi.org/10.1080/0950069960180203>
- Zacharia, Z. C., & de Jong, T. (2014). The Effects on Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits of Introducing Virtual Manipulatives Within a Physical Manipulatives-Oriented Curriculum. *Cognition and Instruction*, 32(2), 101–158. <https://doi.org/10.1080/07370008.2014.88708>