

PENERAPAN *PROGRAMMABLE* MODUL VAR KOMPENSATOR BERBASIS ESP32 PADA PEMBELAJARAN STABILITAS DAYA

*Olnes Y Hutajulu*¹, *Mhd Dominique Mendoza*², *Erita Astrid*³, *Denny H Sinaga*⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

¹olnes.hutajulu@unimed.ac.id, ²aenaen@unimed.ac.id, ³eritaastrid@unimed.ac.id,

⁴denny.sinaga@unimed.ac.id,

Abstrak: Pembelajaran stabilitas daya merupakan aspek penting dalam pendidikan teknik elektro, namun pemahaman mahasiswa seringkali terbatas karena kurangnya media interaktif yang mendukung pembelajaran praktis. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan *programmable* modul Var Kompensator berbasis ESP32 sebagai alat bantu pembelajaran yang interaktif dan aplikatif dalam topik stabilitas daya. Modul ini dirancang agar mahasiswa dapat melakukan kontrol dan pengaturan parameter daya secara real-time, sekaligus memonitor data tegangan, arus, dan stabilitas daya dalam berbagai kondisi beban. Penelitian ini melibatkan dua kelompok mahasiswa, yaitu kelompok eksperimen yang menggunakan modul ESP32 dan kelompok pembanding yang menggunakan perangkat lunak simulasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai post-test kelompok eksperimen secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kelompok pembanding, dengan nilai *t*-hitung sebesar 6.435 ($p < 0.05$), yang menunjukkan efektivitas modul dalam meningkatkan pemahaman konsep stabilitas daya. Selain itu, modul ESP32 terbukti meningkatkan keterampilan praktis mahasiswa dalam merancang dan mengelola rangkaian daya listrik. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan *microcontroller* ESP32 dapat meningkatkan interaksi dan motivasi belajar mahasiswa. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa modul Var Kompensator berbasis ESP32 efektif dalam mendukung pembelajaran stabilitas daya dan dapat menjadi alternatif media pembelajaran interaktif untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa di bidang teknik elektro.

Kata Kunci: ESP32, Kendali Stabilitas Daya, Modul Pembelajaran, Pembelajaran Interaktif, Var Kompensator

Abstract: Power stability learning is an essential aspect of electrical engineering education, yet students often face challenges in comprehension due to the lack of interactive media that supports practical learning. This study aims to apply an ESP32-based *programmable* Var Compensator module as an interactive and applicative learning aid in power stability topics. The module is designed to allow students to control and adjust power parameters in real-time, while also monitoring voltage, current, and power stability data under various load conditions. This study involved two groups of students: an experimental group using the ESP32 module and a comparison group using simulation software. The test results indicate that the post-test scores of the experimental group were significantly higher than those of the comparison group, with a *t*-score of 6.435 ($p < 0.05$), demonstrating the module's effectiveness in enhancing conceptual understanding of power stability. In addition, the ESP32 module proved to improve students' practical skills in designing and managing electrical power circuits. These findings align with previous research, which states that using ESP32 *microcontrollers* can increase student interaction and motivation. Overall, this study shows that the ESP32-based Var Compensator module is effective in supporting power stability learning and can serve as an alternative interactive learning medium to improve student competence in electrical engineering.

Keywords: ESP32, Interactive Learning, Learning Module, Power Stability Control, Var Compensator

PENDAHULUAN

Stabilitas daya merupakan salah satu elemen penting dalam sistem tenaga listrik yang perlu dikuasai oleh mahasiswa teknik elektro, khususnya yang mempelajari sistem kendali dan stabilitas daya. Namun, masih banyak mahasiswa yang mengalami kesulitan dalam memahami konsep stabilitas daya karena kurangnya keterampilan dalam pengelolaan komponen praktis dan pengalaman terbatas dengan modul interaktif yang mendukung

pengendalian stabilitas daya secara langsung (Saputra & Yuhendri, 2023; Albillah, 2023). Hal ini seringkali berakibat pada rendahnya kemampuan mahasiswa dalam merancang dan menerapkan kontrol stabilitas daya yang baik, terutama saat dihadapkan pada kondisi variasi beban yang dinamis (Manullang, 2020).

Dalam rangka mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan modul kendali stabilitas daya berbasis ESP32 yang dapat diprogram sesuai

kebutuhan pembelajaran dan dapat memberikan pengalaman interaktif melalui pengumpulan dan monitoring data secara real-time. Dengan kemampuannya dalam mengontrol tegangan dan arus serta menampilkan parameter daya yang diukur secara langsung, ESP32 diyakini dapat membantu mahasiswa memahami prinsip stabilitas daya secara lebih komprehensif (Syamsuri dkk., 2022). Modul ini dilengkapi dengan sensor yang dapat mengukur parameter penting seperti tegangan dan arus, serta komponen TRIAC untuk mengatur daya keluaran, sehingga mendukung pembelajaran yang aplikatif (Ramadhan dkk., 2021).

Sebagai solusi yang telah ditetapkan dalam penelitian ini, penerapan modul berbasis ESP32 yang dapat diprogram diharapkan mampu meningkatkan keterampilan praktis mahasiswa, memperkaya pemahaman konsep, dan mengurangi kesalahan dalam penerapan stabilitas daya. Modul ini memungkinkan simulasi berbagai skenario beban dan kondisi stabilitas daya, menjadikannya alat yang tidak hanya interaktif tetapi juga mendidik (Pradeep, 2023). Diharapkan dengan penerapan modul ini, mahasiswa dapat meningkatkan kompetensinya dalam mengelola stabilitas daya secara mandiri, sehingga lebih siap menghadapi tantangan dalam bidang teknik elektro di dunia kerja.

Penggunaan teknologi microcontroller, khususnya ESP32, dalam pembelajaran teknik elektro telah menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan pemahaman konsep stabilitas daya dan keterampilan teknis mahasiswa. ESP32, dengan kemampuan pemrosesan data yang cepat dan kemudahan integrasi dengan berbagai sensor, memungkinkan modul pembelajaran yang interaktif dan dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan, terutama dalam kendali daya listrik. Studi oleh Maneetien dkk., (2024) mengungkapkan bahwa teknologi ESP32, ketika digunakan sebagai modul kendali daya berbasis Internet of Things (IoT), mampu memberikan umpan balik data real-time kepada pengguna, yang sangat penting dalam mengamati perubahan parameter daya di bawah variasi beban yang berbeda.

Penelitian lain mendukung efektivitas microcontroller berbasis ESP32 dalam menyediakan media pembelajaran yang interaktif. Kim (2024) menyatakan bahwa modul ESP32 yang dirancang dengan antarmuka grafis membantu mahasiswa lebih mudah memahami hubungan antara variabel tegangan, arus, dan

daya karena data visual ditampilkan secara langsung. Hal ini disepakati oleh Hutajulu (2024), yang menemukan bahwa mahasiswa yang menggunakan modul berbasis ESP32 menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih rendah dalam praktikum, karena mereka dapat melakukan pengaturan dan pemantauan parameter dengan lebih akurat.

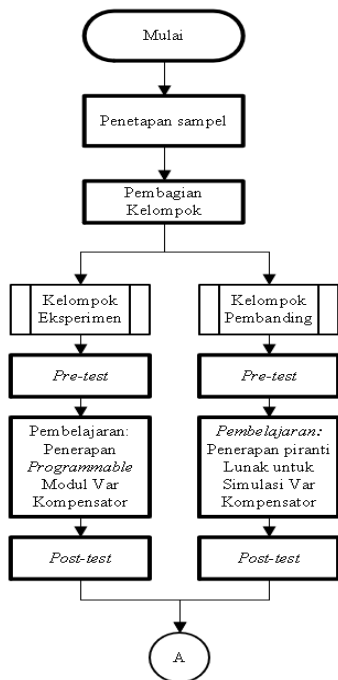
Selain manfaat untuk pemahaman konsep, ESP32 juga memungkinkan integrasi dengan IoT, yang memperkaya pembelajaran dan kolaborasi di kelas. Simon & Gogolák (2024) menyatakan bahwa modul pembelajaran berbasis IoT memungkinkan dosen untuk memantau dan memberikan bimbingan kepada mahasiswa secara real-time selama praktikum berlangsung, bahkan dari jarak jauh. Hal ini meningkatkan fleksibilitas pembelajaran dan memungkinkan mahasiswa untuk berinteraksi lebih dalam dengan modul pembelajaran. Guerrero & Marcela (2023) menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan modul kendali berbasis ESP32 dalam skenario IoT lebih antusias dan merasa lebih termotivasi untuk belajar, karena mereka dapat melihat dampak dari kontrol yang mereka lakukan terhadap stabilitas daya.

Dari segi efektivitas akademik, penelitian oleh Amane dkk., (2023) menunjukkan bahwa penggunaan modul berbasis ESP32 dalam pengajaran stabilitas daya berperan penting dalam mendukung pembelajaran mandiri dan kolaboratif. Studi ini menemukan bahwa mahasiswa yang berinteraksi langsung dengan modul yang dapat diprogram memiliki peningkatan pemahaman hingga 20% lebih tinggi dibandingkan mereka yang menggunakan modul statis atau non-programmable. Dalam penelitian serupa, Lee dkk., (2024) menyimpulkan bahwa modul ini tidak hanya meningkatkan pemahaman teknis mahasiswa, tetapi juga mendorong keterampilan analitis mereka, karena mahasiswa didorong untuk melakukan penyesuaian dan eksperimen berdasarkan hasil pemantauan data.

Melalui berbagai studi ini, dapat disimpulkan bahwa penerapan modul kendali daya berbasis ESP32 sangat potensial untuk meningkatkan pembelajaran stabilitas daya pada mahasiswa teknik elektro. Penelitian ini bertujuan melanjutkan pengembangan dan evaluasi efektivitas modul ini dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan praktis mahasiswa dalam kendali daya.

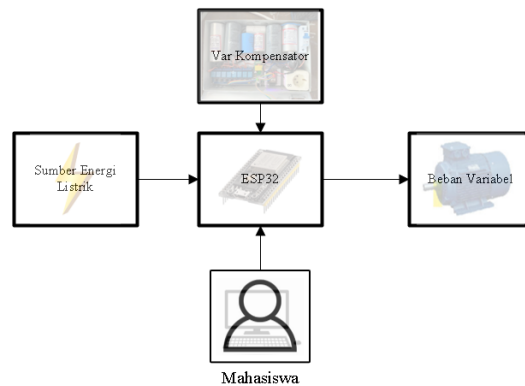
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitas modul kendali stabilitas daya berbasis ESP32 dalam mendukung pembelajaran teknik elektro. Modul dirancang menggunakan komponen ESP32 yang dilengkapi dengan sensor tegangan dan arus, kapasitor bank, TRIAC, dan tampilan OLED untuk memungkinkan mahasiswa memonitor dan mengendalikan stabilitas daya secara *real-time*. Sebelum pengujian, modul dikalibrasi untuk memastikan akurasi, kemudian diuji dalam kondisi laboratorium dengan variasi beban rendah, sedang, dan tinggi untuk menilai performa stabilitas daya, efisiensi, dan respons modul terhadap perubahan beban.



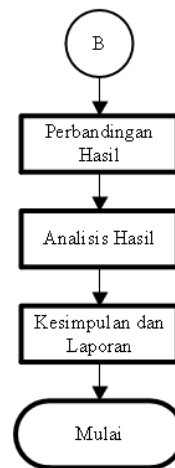
Gambar 1. Diagram alir eksperiment awal.

Gambar 1 memperlihatkan diagram alir eksperiment pembelajaran yang diawali dengan penetapan sampel mahasiswa yang akan mengikuti eksperimen untuk menguji efektivitas modul kendali stabilitas daya berbasis ESP32. Setelah sampel ditetapkan, mahasiswa dibagi menjadi dua kelompok yaitu **kelompok eksperimen** dan **kelompok pembanding**. Kelompok eksperimen akan menggunakan *programmable* modul Var Kompensator berbasis ESP32 (Gambar 2), sedangkan kelompok pembanding akan menggunakan perangkat lunak simulasi Var Kompensator sebagai alat pembelajaran.



Gambar 2. Skema pembelajaran kelompok eksperimen dengan *programmabel* modul Var Kompensator.

Sebelum proses pembelajaran, kedua kelompok diberikan *pre-test* untuk mengukur pemahaman awal terkait konsep stabilitas daya. Selanjutnya, masing-masing kelompok menjalani sesi pembelajaran sesuai dengan metode yang ditetapkan: kelompok eksperimen menggunakan modul Var Kompensator berbasis ESP32, sementara kelompok pembanding menggunakan perangkat lunak simulasi. Setelah pembelajaran selesai, kedua kelompok diberikan *post-test* untuk mengukur peningkatan pemahaman dan keterampilan mereka setelah intervensi pembelajaran. Gambar 3 memperlihatkan langkah lanjutan setelah *post-test*.



Gambar 3. Diagram alir setelah *post-test*.

Hasil *pre-test* dan *post-test* dari kedua kelompok dibandingkan (langkah A) untuk menilai perbedaan peningkatan pemahaman antara kelompok eksperimen dan kelompok pembanding. Selanjutnya, hasil perbandingan ini dianalisis (langkah B) untuk menentukan efektivitas modul pembelajaran berbasis ESP32. Berdasarkan hasil analisis, disusun kesimpulan

dan laporan akhir untuk merangkum temuan penelitian terkait pengaruh penggunaan programmable modul Var Kompensator dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang stabilitas daya listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini diawali dengan analisis data pre-test untuk mengukur pemahaman awal mahasiswa mengenai konsep stabilitas daya pada kelompok eksperimen dan kelompok pembanding. Berdasarkan hasil *pre-test* kedua kelompok (Tabel 1), nilai pre-test kelompok eksperimen memiliki nilai minimum sebesar 50 dan maksimum sebesar 69, dengan rata-rata (Mean) 59,24 dan standar deviasi (Sd) 6,64. Di sisi lain, kelompok pembanding menunjukkan nilai pre-test minimum sebesar 50 dan maksimum sebesar 69, dengan rata-rata 58,94 dan standar deviasi 6,21. Data ini menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki pemahaman awal yang relatif serupa sebelum diberikan intervensi pembelajaran.

Tabel 1. Data hasil *pre-test* mahasiswa.

Kelas	Min	Max	Mean	N	Sd
<i>Eksperimen</i>	50	69	59.24	50	6.64
<i>Pembanding</i>	50	69	58.94	50	6.21

Setelah implementasi pembelajaran menggunakan modul kendali berbasis ESP32 untuk kelompok eksperimen dan perangkat lunak simulasi untuk kelompok pembanding, dilakukan post-test untuk mengukur peningkatan pemahaman masing-masing kelompok. Tabel Hasil Post-test menunjukkan bahwa kelompok eksperimen memiliki nilai post-test minimum sebesar 65 dan maksimum sebesar 90, dengan rata-rata 78,34 dan standar deviasi 7,04. Sementara itu, kelompok pembanding memiliki nilai post-test minimum sebesar 58 dan maksimum sebesar 83, dengan rata-rata 69,34 dan standar deviasi 6,95.

Tabel 2. Data hasil *post-test* mahasiswa.

Kelas	Min	Max	Mean	N	Sd
<i>Eksperimen</i>	65	90	78.34	50	7.04
<i>Pembanding</i>	58	83	69.34	50	6.95

Hasil *post-test* kedua kelompok kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi apakah pembelajaran dengan *programmable* modul efektif atau tidak. Analisis dimulai dengan terlebih dahulu melakukan uji normalitas.

Uji normalitas dilakukan untuk menentukan apakah data hasil post-test dari kedua kelompok, yaitu kelompok eksperimen dan kelompok pembanding, berdistribusi secara normal. Jika data berdistribusi normal, maka uji parametrik dapat digunakan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat dan valid. Sebaliknya, jika data tidak berdistribusi normal, maka metode non-parametrik mungkin lebih sesuai. Oleh karena itu, dilakukan uji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk memverifikasi apakah hasil *post-test* pada kedua kelompok memenuhi asumsi normalitas dengan hasil diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji normalitas dengan Shapiro-Wilk.

Kelas	W-statistik	p-value
<i>Eksperimen</i>	0.9571	0.0673
<i>Pembanding</i>	0.9559	0.0602

Tabel uji normalitas hasil post-test menunjukkan hasil analisis normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk kelompok eksperimen dan kelompok pembanding. Kelompok eksperimen memiliki nilai W-statistic sebesar 0,9571 dengan p-value sebesar 0,0673, sedangkan kelompok pembanding memiliki nilai W-statistic sebesar 0,9559 dengan p-value sebesar 0,0602. Karena nilai p-value pada kedua kelompok lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa data post-test untuk kelompok eksperimen dan pembanding berdistribusi normal.

Berdasarkan uji normalitas, distribusi data kedua kelompok terdistribusi normal sehingga analisis dapat dilanjutkan dengan uji parametrik. Uji parametrik dilakukan dengan *Independent Samples t-test* untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan dalam rata-rata hasil *post-test* antara kelompok eksperimen yang menggunakan modul ESP32 dan kelompok pembanding yang menggunakan perangkat lunak simulasi. Hasil uji parametrik diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil *Independent samples t-test* hasil *post-test*.

Kelas	t-hitung	t-tabel	p-value
<i>Eksperimen vs Pembanding</i>	6.435	1.6759	0.0000

Tabel 4 menunjukkan hasil uji Independent Samples t-test pada nilai post-test antara kelompok eksperimen dan kelompok

pembandingan. Nilai t-hitung yang diperoleh adalah 6.435, yang lebih besar dari t-tabel sebesar 1.6759 dengan tingkat signifikansi (p-value) sebesar 0.0000. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok, di mana penggunaan modul berbasis ESP32 pada kelompok eksperimen secara statistik lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa dibandingkan dengan metode pembelajaran pada kelompok pembandingan. Dengan p-value yang sangat kecil ($p < 0.05$), hasil ini mendukung hipotesis bahwa modul kendali stabilitas daya berbasis ESP32 memiliki dampak positif yang signifikan terhadap hasil belajar mahasiswa.

Evaluasi Keterampilan Teknis Mahasiswa

Selain hasil belajar, efektivitas juga diukur berdasarkan evaluasi keterampilan teknis mahasiswa. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai dampak penggunaan modul dalam meningkatkan kemampuan praktis mereka. Fokus evaluasi diarahkan pada aspek teknis, khususnya dalam pemasangan komponen dan pemrograman dasar menggunakan ESP32. Hasil perbandingan sebelum dan sesudah penggunaan modul, dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar dampak positif modul tersebut terhadap peningkatan keterampilan teknis mahasiswa. Hasil perbandingan keterampilan teknis diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan keterampilan mahasiswa sebelum dan sesudah menggunakan *programmable* modul.

Aspek Teknis	Sebelum (%)	Sesudah (%)	Peningkatan (%)
Pemasangan Komponen	62	87	25
Pemrograman Dasar ESP32	58	84	26

Tabel 5 memperlihatkan adanya peningkatan keterampilan teknis mahasiswa setelah menggunakan modul pembelajaran. Pada aspek pemasangan komponen, terjadi peningkatan dari 62% sebelum menggunakan modul menjadi 87% setelah menggunakan modul, yang berarti ada peningkatan sebesar 25%. Sementara itu, pada aspek pemrograman dasar ESP32, tingkat keterampilan meningkat dari 58% menjadi 84% setelah penggunaan modul, dengan peningkatan sebesar 26%. Data ini menunjukkan bahwa modul memiliki kontribusi signifikan dalam meningkatkan

pemahaman teknis mahasiswa di kedua aspek tersebut.

Umpanbalik

Umpanbalik dari mahasiswa mengenai penggunaan modul pembelajaran merupakan aspek penting dalam menilai efektivitas penggunaan modul ini pada pembelajaran stabilitas daya. Pada penelitian ini juga dilakukan survei untuk mengukur kepuasan dan persepsi mahasiswa terhadap kemudahan penggunaan, relevansi modul dengan pembelajaran, serta pengaruhnya terhadap motivasi belajar. Hasil dari survei ini memberikan gambaran mengenai tingkat penerimaan mahasiswa terhadap modul yang digunakan dan dampaknya pada motivasi belajar mereka. Hasil dari survei umpanbalik disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil survei umpanbalik dari mahasiswa.

Aspek Teknis	Sebelum (%)	Sesudah (%)	Peningkatan (%)
Kemudahan Penggunaan	68	90	22
Relevansi dengan Pembelajaran	72	94	22
Motivasi Belajar	65	89	24

Berdasarkan Tabel 6, terdapat peningkatan pada tiga aspek kepuasan mahasiswa setelah menggunakan modul. Kemudahan penggunaan meningkat dari 68% sebelum penggunaan modul menjadi 90% setelahnya, dengan peningkatan sebesar 22%. Relevansi dengan pembelajaran juga menunjukkan peningkatan serupa, dari 72% menjadi 94%. Sementara itu, aspek motivasi belajar meningkat paling signifikan, dari 65% menjadi 89%, dengan peningkatan sebesar 24%. Data ini mengindikasikan bahwa modul tidak hanya membantu dalam proses pembelajaran tetapi juga berhasil meningkatkan kepuasan dan motivasi belajar mahasiswa.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, penerapan modul kendali stabilitas daya berbasis ESP32 menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang konsep stabilitas daya. Perbedaan signifikan antara nilai post-test kelompok eksperimen dan kelompok pembandingan, dengan nilai t-hitung yang lebih

besar dari t-tabel dan p-value yang sangat kecil ($p < 0.05$), menegaskan bahwa modul ini memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan mendalam. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rahman dkk., (2021), yang menyatakan bahwa penggunaan microcontroller ESP32 dalam pembelajaran teknik dapat meningkatkan keterampilan mahasiswa pada bidang tersebut.

Efektivitas modul ini juga terlihat dari peningkatan kemampuan mahasiswa dalam merancang dan mengelola rangkaian daya listrik, yang tercermin dalam hasil post-test yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen. Jayachandran dkk., (2024) dalam penelitian mereka juga menunjukkan bahwa modul pembelajaran berbasis microcontroller membantu mahasiswa memahami hubungan antara variabel listrik secara langsung, sehingga mampu meningkatkan keterampilan analitis dan praktis. Modul ini tidak hanya memungkinkan mahasiswa memonitor perubahan tegangan dan arus, tetapi juga mengajarkan mereka untuk mengambil keputusan berdasarkan data real-time, yang sangat penting dalam pembelajaran teknik elektro.

Keunggulan ESP32 sebagai teknologi pendukung juga memperkaya pembelajaran melalui integrasi Internet of Things (IoT), yang memungkinkan data dipantau dari jarak jauh dan memberikan fleksibilitas bagi dosen untuk membimbing mahasiswa secara efektif. Studi oleh Susanto et al. (2022) menunjukkan bahwa modul berbasis IoT dapat meningkatkan interaksi mahasiswa dengan materi ajar, memotivasi mereka untuk belajar lebih dalam, dan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif. Hal ini mendukung temuan dalam penelitian ini, di mana mahasiswa yang menggunakan modul berbasis ESP32 menunjukkan kepuasan lebih tinggi dan waktu penyelesaian praktikum yang lebih singkat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mendukung hipotesis bahwa penerapan modul kendali stabilitas daya berbasis ESP32 adalah metode yang efektif dalam meningkatkan kompetensi mahasiswa di bidang teknik elektro, khususnya dalam aspek stabilitas daya. Dengan peningkatan pemahaman konseptual dan keterampilan praktis yang signifikan, modul ini dapat dijadikan sebagai alternatif pembelajaran yang interaktif dan aplikatif, membantu mahasiswa mengembangkan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan industri. Penelitian ini juga membuka peluang bagi penelitian lanjutan

untuk mengembangkan modul serupa yang dapat diterapkan dalam berbagai mata kuliah teknik, sehingga dapat memperkaya pengalaman belajar mahasiswa secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abekiri, N., Rachdy, A., Ajaamoum, M., Nassiri, B., Elmahni, L., & Oubail, Y. (2023). Platform for hands-on remote labs based on the ESP32 and NOD-red. *Scientific African*, 19.
- Adri, RF (2020). Pengaruh pre-test terhadap tingkat pemahaman mahasiswa program studi ilmu politik pada mata kuliah ilmu alamiah dasar. *Menara Ilmu: Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmiah*, jurnal.umsb.ac.id, <https://www.jurnal.umsb.ac.id/index.php/menarailmu/article/view/1742>
- Albillah, MF (2023). Perancangan Trainer PLC dan VSD untuk Starting Motor Listrik dalam Mata Kuliah Pengendalian Listrik., repository.ar-raniry.ac.id, <https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/38404/>
- Amane, A. P. O., Sos, S., Febriana, R. W., Kom, S., Kom, M., Artiyasa, I. M., ... & Hut, S. (2023). Pemanfaatan dan Penerapan Internet Of Things (Iot) Di Berbagai Bidang. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Guerrero, S., Marcela. L. (2023). Modular kit to support stem-based electronic learning.
- Hutajulu, O. Y., Mendoza, M. D., Astrid, E., & Rahmadani, R. (2024). Utilizing Internet of Things Technology in the Development of AC Electrical Circuit Trainer Module. In *Proceedings of the 5th International Conference on Innovation in Education, Science, and Culture, ICIESC 2023*, 24 October 2023, Medan, Indonesia.
- Jayachandran, N., Abdrabou, A., Yamane, N., & Al-Dulaimi, A. (2024). A Platform for Integrating Internet of Things, Machine Learning, and Big Data Practicum in Electrical Engineering Curricula. *Computers*, 13(8), 198.
- Lee, Y. A., Abdul Talip, A. H., Bohari, Z., & Che Md Nor, R. (2024). Enhancing IoT in education: a comprehensive analysis of CS110 students' perceptions towards Do-It-Yourself (DIY) Workshops at UiTM Sarawak Branch/Lee Yee Ann...[et al.]. *Journal of Computing Research and Innovation (JCRINN)*, 9(1), 226-234.

- Kim, C. (2024). Educational Framework for IoT Product and Service Prototyping. *Archives of Design Research*, 37(2), 103-119.
- Maneetien, N., Kawdungta, S., & Jaikampan, V. (2024). The Design and Construction of an IoT Learning Board Using ESP32 and FPGA. In *2024 9th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed)* (pp. 1-4). IEEE.
- Manullang, N. (2023). *Desain Modul Praktikum Daya Listrik Pada Mata Kuliah Dasar Energi Listrik* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry).
- Pradeep, A. (2023). Enabling IoTs with ESP32 for Affordable Education. In *2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (pp. 1368-1373). IEEE.
- Rahman, A. A., Kaniawati, I., Riandi, R., & Hendayana, S. (2024). Energy Efficiency at School with Microcontroller. Project: Stem for Sustainable Development. *Journal of Engineering Science and Technology Special*, (2).
- Ramadhan, S. I., Haritman, E., & Wahyudin, D. (2021). Development of BLENODE32 Practicum Module Using ADDIE for Embedded System & IoT Practical Work. In *2021 3rd International Symposium on Material and Electrical Engineering Conference (ISMEE)* (pp. 137-141). IEEE.
- Saputra, R., & Yuhendri, M. (2023). Pembuatan Job Sheet Kendali Motor Servo Menggunakan Variable Speed Drive. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 4(1), 117-124.
- Simon, J., & Gogolák, L. (2024). Development of an IoT based 3D printed Mobile Robot Platform for training of Mechatronics Engineering Students. *Analecta Technica Szegedinensia*, 18(1), 18-30.
- Syamsuri, T. U., Amalia, R. N., & Imron, A. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik di Asrama Berbasis Web Menggunakan ESP32. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(3), 139-145.