

ANALISIS KESIAPAN LITERASI TEKNOLOGI BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS) KENDARAAN LISTRIK PADA MAHASISWA PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

¹Hafid Rahmandan*, ¹Andi Maga Umara, ¹Muhammad Yasser Arafat, ¹Mohamad Riyandi Badu

¹Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Gorontalo
e-mail*: hafidrahmandan@ung.ac.id

Abstrak

Transisi energi nasional menuntut kesiapan calon guru vokasi yang melek teknologi kendaraan listrik, termasuk *Battery Management System* (BMS). Penelitian ini bertujuan memetakan tingkat literasi teknologi dan kesiapan pedagogis mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Gorontalo terhadap teknologi BMS kendaraan listrik. Penelitian menggunakan desain kuantitatif deskriptif eksploratif dengan teknik *purposive sampling* pada mahasiswa semester VI dan VIII yang telah menempuh mata kuliah Kelistrikan Otomotif. Data dikumpulkan melalui dua instrumen: Tes Literasi Kognitif BMS (20 butir pilihan ganda mencakup fungsi BMS, sistem proteksi baterai, dan *cell balancing*) serta Skala Kesiapan Pedagogis untuk mengukur efikasi diri mahasiswa dalam membelajarkan teknologi BMS di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Validasi instrumen dilakukan melalui *expert judgment*, dan data dianalisis menggunakan statistik deskriptif dengan kategori interval persentase. Hasil penelitian menunjukkan rerata pencapaian tes kognitif sebesar 61,5% dengan kategori Tinggi, di mana topik manajemen termal dan algoritma *State of Health* (SoH) menjadi butir dengan tingkat kesulitan tertinggi. Rerata Skala Kesiapan Pedagogis mencapai 3,42 dari skala 5,00 dengan kategori Cukup Siap. Ditemukan kesenjangan signifikan antara keterbatasan pemahaman teknis mahasiswa dan tingginya motivasi serta kesadaran pedagogis mereka. Temuan ini mengimplikasikan perlunya integrasi konten BMS kendaraan listrik secara terstruktur ke dalam kurikulum Kelistrikan Otomotif guna menghasilkan calon guru SMK yang kompeten dan relevan dengan kebutuhan industri otomotif berbasis energi terbarukan.

Kata Kunci: *Battery Management System*; Kendaraan Listrik; Kesiapan Pedagogis; Literasi Teknologi; Pendidikan Vokasi.

Abstract

The national energy transition demands vocational teacher candidates who are technologically literate in electric vehicle systems, including *Battery Management Systems* (BMS). This study aims to map the technology literacy level and pedagogical readiness of Mechanical Engineering Education students at Universitas Negeri Gorontalo regarding electric vehicle BMS technology. An exploratory descriptive quantitative design was employed with *purposive sampling* on sixth and eighth semester students who had completed the Automotive Electrical Systems course. Data were collected using two instruments: a BMS Cognitive Literacy Test (20 multiple choice items covering BMS functions, battery protection systems, and *cell balancing*) and a Pedagogical Readiness Scale measuring students' self-efficacy in teaching BMS technology at vocational high schools. Instruments were validated through expert judgment, and data were analyzed using descriptive statistics with percentage interval categories. Results show a mean cognitive test achievement of 61.5% (High category), with thermal management and *State of Health* (SoH) algorithm items recording the highest difficulty levels. The mean Pedagogical Readiness Scale reached 3.42 out of 5.00 (Fairly Ready category). A significant gap was found between students' limited technical understanding and their high pedagogical motivation and awareness. These findings imply the need to structurally integrate electric vehicle BMS content into the Automotive Electrical Systems curriculum to produce competent vocational teacher candidates relevant to the demands of the renewable energy based automotive industry.

Keywords: *Battery Management System*; Electric Vehicle; Pedagogical Readiness; Technology Literacy; Vocational Education .

How to cite:

Rahmandan, et al. (2026). Analisis Kesiapan Literasi Teknologi *Battery Management System*

PENDAHULUAN

Ketergantungan sektor transportasi Indonesia pada bahan bakar fosil menjadi salah satu faktor penekan signifikan terhadap ketahanan fiskal negara. Fluktuasi harga minyak mentah di pasar internasional secara langsung berdampak pada membengkaknya anggaran subsidi energi, sehingga mendorong pemerintah untuk mempercepat transformasi sistem mobilitas nasional menuju elektrifikasi (Kementerian Keuangan RI, 2026). Kebijakan ini diperkuat melalui instrumen regulasi yang secara progresif mendorong adopsi kendaraan bermotor listrik berbasis baterai sebagai alternatif strategis pengganti kendaraan konvensional (Nuarta & Sukedi, 2024). Pada tataran yang lebih luas, transisi menuju kendaraan listrik tidak lagi dipahami semata sebagai agenda lingkungan, melainkan sebagai respons terhadap semakin menipisnya cadangan energi fosil dan meningkatnya urgensi dekarbonisasi sektor transportasi secara global (Nugroho et al., 2023).

Dalam sistem kendaraan listrik, komponen yang memegang peran paling kritis adalah *Battery Management System* (BMS). Sistem ini bertanggung jawab atas pengelolaan parameter operasional baterai secara menyeluruh, meliputi pemantauan *State of Charge* (SoC), estimasi *State of Health* (SoH), penyeimbangan sel (*cell balancing*), manajemen termal, serta proteksi terhadap kondisi arus dan tegangan yang melampaui batas operasional aman (Thangavel et al., 2023). Kegagalan dalam pengelolaan BMS yang tepat tidak hanya mempercepat degradasi kapasitas baterai, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan yang serius bagi pengguna kendaraan (Zhao et al., 2025). Kompleksitas teknis ini menjadikan BMS sebagai salah satu topik yang paling menantang sekaligus paling relevan untuk diintegrasikan ke dalam pendidikan teknik vokasi.

Di sinilah peran strategis Program Studi Pendidikan Teknik Mesin (PTM) menjadi sangat penting. Sebagai pencetak calon guru SMK bidang teknik otomotif, program studi ini memikul tanggung jawab untuk memastikan bahwa lulusannya memiliki kompetensi yang setara dengan perkembangan teknologi industri terkini. Namun, sejumlah kajian menunjukkan bahwa integrasi konten teknologi maju ke dalam kurikulum pendidikan vokasi masih menghadapi berbagai hambatan struktural, di antaranya kesenjangan literasi teknologi di kalangan mahasiswa dan keterbatasan fasilitas praktikum yang memadai (Hardiyanta et al., 2024). Kesenjangan ini berpotensi menghasilkan calon guru

yang tidak siap mengajarkan teknologi yang justru semakin dominan di industri otomotif.

Penelitian sebelumnya terkait literasi teknologi kendaraan listrik di lingkungan pendidikan vokasi masih sangat terbatas, terutama yang secara khusus menyasar mahasiswa calon guru teknik mesin. Sebagian besar kajian yang ada berfokus pada aspek teknis BMS dari perspektif rekayasa (Tian et al., 2021), dimensi pedagogis dan kesiapan mengajar teknologi ini di lingkungan SMK belum mendapat perhatian yang memadai. Celah inilah yang menjadi titik tolak penelitian ini. Penelitian ini bertujuan memetakan secara empiris tingkat literasi teknologi BMS dan kesiapan pedagogis mahasiswa PTM Universitas Negeri Gorontalo melalui dua instrumen terstandar, yakni tes literasi kognitif dan skala kesiapan pedagogis. Nilai kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan dua dimensi pengukuran kompetensi teknis dan kesiapan mengajar dalam satu kerangka kajian terpadu yang belum pernah dilakukan sebelumnya di konteks PTM. Temuan yang dihasilkan diharapkan menjadi landasan empiris bagi rekonstruksi kurikulum mata kuliah Kelistrikan Otomotif agar lebih responsif terhadap tuntutan industri otomotif berbasis energi terbarukan.

METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan rancangan deskriptif eksploratif, yang dipilih karena sesuai dengan tujuan memetakan kondisi aktual literasi teknologi BMS dan kesiapan pedagogis mahasiswa tanpa memberikan intervensi atau perlakuan tertentu kepada subjek penelitian (Creswell, 2023). Subjek penelitian adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin (PTM) Universitas Negeri Gorontalo yang ditentukan melalui teknik *purposive sampling* dengan dua kriteria inklusi: sedang menempuh semester VI atau VIII, dan telah lulus mata kuliah Kelistrikan Otomotif. Penetapan kriteria ini bertujuan memastikan seluruh responden telah memiliki fondasi pengetahuan teknik yang relevan sebagai prasyarat pemahaman materi BMS (Sugiyono, 2021). Dari total populasi sebesar 60 mahasiswa aktif semester VI dan VIII yang memenuhi kriteria inklusi tersebut, diperoleh 45 mahasiswa yang bersedia berpartisipasi penuh dan memenuhi syarat sebagai subjek penelitian (*respon rate* sebesar 75%).

Pengumpulan data menggunakan dua instrumen yang dikembangkan secara mandiri dan dioperasikan melalui platform survei digital. Instrumen pertama adalah Tes Literasi Kognitif BMS yang terdiri atas 20 butir soal pilihan ganda dengan penskoran dikotomis (benar = 1, salah = 0) sehingga skor maksimal yang dapat dicapai adalah 20. Tes ini mengukur pemahaman konseptual mahasiswa terhadap tiga indikator: (1) fungsi dan prinsip kerja komponen BMS, mencakup *State of Charge* (SoC), *State of Health* (SoH), manajemen termal, dan siklus baterai; (2) sistem proteksi baterai, meliputi proteksi *overcurrent*, *overvoltage*, *overdischarge*, dan proteksi termal; serta (3)

mekanisme *cell balancing* aktif dan pasif beserta relevansi pedagogisnya bagi calon guru. Konstruksi butir soal menggunakan pendekatan analogi kontekstual, yaitu menghubungkan konsep-konsep BMS dengan pengetahuan teknik yang telah dikuasai mahasiswa sebelumnya seperti fungsi radiator, cara kerja sekering MCB, atau prinsip katup hidrolik sehingga instrumen mampu mengukur pemahaman terapan secara autentik, bukan sekadar hafalan terminologi. Distribusi butir soal per indikator disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Butir Soal Tes Literasi Kognitif BMS

No.	Indikator	Nomor Soal	Jumlah
1	Fungsi dan cara kerja BMS (SoC, SoH, manajemen termal, siklus baterai)	1, 2, 6, 7, 8, 9, 15, 18, 20	9
2	Sistem proteksi baterai (korsleting, <i>overdischarge</i> , <i>overcharge</i> , Lithium-ion vs aki basah)	4, 5, 10, 13, 16, 17	6
3	Cell balancing dan relevansi pedagogis calon guru	3, 11, 12, 14, 19	5
Total			20

Instrumen kedua adalah Skala Kesiapan Pedagogis yang mengukur tingkat efikasi diri mahasiswa dalam membelajarkan teknologi BMS di jenjang SMK. Skala ini mencakup empat aspek pengukuran: kepercayaan diri dalam menyampaikan materi BMS secara konseptual; kemampuan merancang analogi kontekstual untuk menyederhanakan konsep teknis yang kompleks; kesiapan memanfaatkan media atau simulasi digital dalam pembelajaran; serta kesiapan mengelola aspek keselamatan kerja terkait baterai kendaraan listrik di lingkungan bengkel SMK. Kedua instrumen divalidasi secara isi melalui prosedur *expert judgment* yang melibatkan tiga dosen ahli dengan latar belakang Teknik Otomotif, Pendidikan Teknik, dan Evaluasi Pendidikan. Pengukuran kuantitatif terhadap kesepakatan ahli dihitung menggunakan indeks *Content Validity Index* (CVI) yang menunjukkan hasil kelayakan Bahasa, relevansi butir instrument, dan Tingkat kesukaran yang memadai (Intang, 2023). Pengujian reliabilitas tes kognitif menggunakan formula Kuder-Richardson 20 (KR-20) menghasilkan koefisien $r = 0,81$ yang termasuk kategori sangat reliabel, sedangkan reliabilitas skala pedagogis diestimasi menggunakan *Cronbach's Alpha* dengan perolehan $\alpha = 0,87$ yang juga masuk dalam kategori sangat reliabel (S. Arikunto, 2020).

Analisis data tes kognitif dilakukan dengan menghitung persentase pencapaian skor pada setiap butir dan setiap indikator, yang selanjutnya diinterpretasikan menggunakan kriteria kategorisasi interval persentase yang diadaptasi dari (Yusuf, 2022) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Data skala kesiapan pedagogis dianalisis berdasarkan nilai rerata (*mean*) dan dikategorikan menggunakan pendekatan Mean

Ideal (Mi) dan Simpangan Baku Ideal (SDi). Seluruh proses pengolahan data dilaksanakan dengan bantuan perangkat lunak IBM SPSS Statistics 26.

Tabel 2. Kriteria Kategorisasi Tingkat Literasi Kognitif BMS

Persentase Skor (%)	Kategori
81 – 100	Sangat Tinggi
61 – 80	Tinggi
41 – 60	Cukup
21 – 40	Rendah
0 – 20	Sangat Rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan temuan dari dua instrumen yang digunakan, yaitu Tes Literasi Kognitif BMS dan Skala Kesiapan Pedagogis, yang disajikan secara berurutan sebelum diinterpretasikan lebih mendalam pada bagian pembahasan.

HASIL

Secara keseluruhan, mahasiswa PTM UNG mampu menjawab dengan benar rata-rata 12,3 dari 20 soal pada Tes Literasi Kognitif BMS, setara dengan persentase pencapaian 61,5% yang termasuk dalam kategori Tinggi. Hasil ini mencerminkan penguasaan dasar yang sudah baik secara konseptual makro, meskipun pada beberapa submateri yang menuntut pemahaman prinsip fisika-kimia secara lebih mendalam. Rincian persentase pencapaian dan kategori per indikator ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Tes Literasi Kognitif BMS per Indikator

No.	Indikator	% Benar	Kategori
1	Fungsi dan cara kerja BMS (SoC, SoH, manajemen termal, siklus baterai)	67,4	Tinggi
2	Sistem proteksi baterai (korsleting, <i>overdischarge</i> , Lithium-ion vs Aki)	58,9	Cukup
3	<i>Cell balancing</i> dan relevansi pedagogis calon guru	55,6	Cukup
Keseluruhan		61,5	Tinggi

Analisis pada tingkat butir soal mengungkap variasi capaian yang cukup lebar antar topik. Tiga butir dengan persentase jawaban benar terendah adalah soal nomor 9 mengenai pembatasan arus pengisian baterai pada kondisi suhu di bawah 0°C (36,7%), soal nomor 14 tentang kelemahan energetis mekanisme *passive cell balancing* (40,0%), dan soal nomor 12 terkait keunggulan *liquid cooling* berdasarkan koefisien perpindahan panas (42,2%). Ketiga butir tersebut memiliki kesamaan karakteristik, yakni menuntut pemahaman prinsip elektrokimia dan termodinamika yang

berada di luar cakupan pembelajaran teknik otomotif konvensional yang selama ini diterima mahasiswa.

Sebaliknya, butir-butir dengan persentase jawaban benar tertinggi diraih oleh soal nomor 4 tentang fungsi sekering atau MCB sebagai analogi proteksi arus pada BMS (88,9%), soal nomor 5 mengenai urgensi pemahaman keselamatan kerja baterai kendaraan listrik bagi calon guru (84,4%), dan soal nomor 18 tentang konsep siklus pengisian-pengosongan baterai (82,2%). Pola perolehan ini mengindikasikan bahwa butir-butir yang dikonstruksi melalui pendekatan analogi kontekstual menghubungkan konsep BMS dengan sistem teknik yang telah dipelajari sebelumnya jauh lebih mudah dipahami oleh mahasiswa dibandingkan butir yang berdiri sendiri secara konseptual.

Hasil analisis Skala Kesiapan Pedagogis menunjukkan rerata keseluruhan $M = 3,42$ dengan simpangan baku $SD = 0,61$, yang berada pada kategori Cukup Siap. Profil kesiapan pada masing-masing aspek pengukuran disajikan secara terperinci pada Tabel 4.

Tabel 4. Rerata Skor Skala Kesiapan Pedagogis per Aspek

No.	Aspek Kesiapan Pedagogis	M	SD	Kategori
1	Kepercayaan diri menyampaikan materi BMS	3,18	0,74	Cukup Siap
2	Kemampuan merancang analogi kontekstual BMS	3,35	0,68	Cukup Siap
3	Kesiapan menggunakan media/simulasi digital BMS	3,61	0,57	Siap
4	Kesiapan mengelola keselamatan kerja EV di bengkel SMK	3,52	0,63	Siap
Keseluruhan		3,42	0,61	Cukup Siap

Aspek dengan capaian tertinggi adalah kesiapan memanfaatkan media dan simulasi digital dalam pembelajaran BMS ($M = 3,61$; Siap), diikuti oleh kesiapan mengelola keselamatan kerja di bengkel SMK ($M = 3,52$; Siap). Sementara itu, kepercayaan diri dalam menyampaikan konten BMS secara substantif menjadi aspek dengan capaian terendah ($M = 3,18$; Cukup Siap). Pola distribusi ini memperlihatkan kecenderungan bahwa mahasiswa lebih merasa siap pada ranah instrumental dibandingkan ranah penguasaan dan komunikasi konten.

PEMBAHASAN

Persentase pencapaian keseluruhan sebesar 61,5% pada tes kognitif mengindikasikan bahwa mahasiswa PTM UNG telah membangun fondasi pemahaman yang masuk dalam kriteria tinggi mengenai Gambaran umum BMS, meskipun penguasaan tersebut belum merata pada seluruh dimensi materi. Capaian tertinggi pada indikator fungsi dan prinsip kerja BMS (67,4%) menunjukkan bahwa konsep-konsep

yang bersifat prosedural dan deskriptif relatif lebih mudah dikuasai. Sebaliknya, dua indikator lainnya yang melibatkan aspek teknis lebih mendalam sistem proteksi (58,9%) dan *cell balancing* (55,6%) masih berada dalam kategori Cukup. Kondisi ini sejalan dengan temuan (Hardiyanta et al., 2024) yang mengungkapkan bahwa kurikulum teknik otomotif di satuan pendidikan vokasi umumnya belum mengintegrasikan kompetensi elektrifikasi kendaraan secara sistematis, sehingga calon guru cenderung hanya memperoleh pengetahuan prosedural dasar tanpa dibekali pemahaman konseptual yang memadai mengenai teknologi kendaraan listrik.

Rendahnya perolehan skor pada soal pembatasan arus pengisian di bawah suhu 0°C (36,7%) dan mekanisme *passive cell balancing* (40,0%) menunjukkan bahwa konsep-konsep yang bersifat kontra-intuitif serta memerlukan pemahaman elektrokimia belum terjangkau oleh pengalaman belajar mahasiswa saat ini. (Tian et al., 2021) menegaskan bahwa penguasaan kompetensi BMS pada level lanjut tidak dapat dicapai hanya melalui paparan teori di ruang kelas, melainkan membutuhkan kombinasi pemahaman algoritmik dan pengalaman berbasis simulasi yang terstruktur. Temuan ini memperkuat argumen bahwa desain pembelajaran BMS untuk mahasiswa PTM perlu melibatkan pendekatan yang lebih aktif dan berbasis fenomena nyata, bukan sekadar transfer informasi satu arah.

Di sisi lain, tingginya perolehan skor pada butir-butir berbasis analogi Teknik seperti sekering atau MCB sebagai analogi proteksi arus BMS menegaskan relevansi pendekatan analogi kontekstual yang diterapkan dalam konstruksi instrumen. Temuan ini bersesuaian dengan prinsip pembelajaran bermakna, bahwa pengetahuan baru dapat diasimilasikan secara lebih efektif apabila dikaitkan dengan struktur kognitif yang telah dimiliki pelajar sebelumnya. Implikasi praktisnya bagi desain pembelajaran adalah bahwa pengajaran materi BMS di program PTM semestinya secara eksplisit membangun jembatan konseptual dari sistem teknik konvensional yang sudah dikuasai mahasiswa menuju sistem elektronik BMS yang lebih kompleks, bukan langsung memperkenalkan terminologi dan prinsip kerja BMS secara terpisah dari konteks yang sudah dikenal.

Pada dimensi kesiapan pedagogis, rerata keseluruhan $M = 3,42$ yang termasuk kategori Cukup Siap mencerminkan kondisi paradoks yang menarik. Di satu sisi, mahasiswa menunjukkan kesiapan yang relatif baik dalam memanfaatkan media dan simulasi digital ($M = 3,61$) serta dalam mengelola aspek keselamatan kerja bengkel EV ($M = 3,52$). Namun di sisi lain, kepercayaan diri mereka dalam menyampaikan konten BMS secara substantif justru menjadi aspek paling lemah ($M = 3,18$). Pola kontras ini mempertegas temuan (Williams et al., 2023) bahwa efikasi diri seorang guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran sangat ditentukan oleh kedalaman

penguasaan kontennya. Mahasiswa yang belum sepenuhnya menguasai prinsip *State of Health* dan *cell balancing* secara konseptual tidak akan cukup percaya diri untuk mengajarkan topik tersebut kepada peserta didik SMK, meskipun mereka telah terampil mengoperasikan perangkat media digital.

Kesiapan dalam aspek keselamatan kerja baterai *Electric Vehicle* (EV) yang tergolong Siap ($M = 3,52$) merupakan temuan positif yang layak mendapat perhatian tersendiri. Capaian ini berkorelasi konsisten dengan tingginya persentase jawaban benar pada soal nomor 5 yang menguji pemahaman tentang urgensi pedagogis keselamatan baterai kendaraan listrik (84,4%). Kedua data tersebut bersama-sama mengindikasikan bahwa mahasiswa telah memahami signifikansi aspek keselamatan dalam pengelolaan baterai berkapasitas tinggi sebuah kompetensi yang secara praktis sangat krusial bagi calon guru SMK yang akan mengelola bengkel praktikum EV (Gabbar et al., 2021).

Secara integratif, temuan penelitian ini mengidentifikasi tiga kesenjangan yang perlu ditangani secara bersamaan dan terstruktur. Pertama, kesenjangan konten: materi BMS belum diakomodasi secara eksplisit dalam capaian pembelajaran mata kuliah Kelistrikan Otomotif, sehingga penguasaan mendalam pada topik Tingkat kesulitan tinggi sulit terwujud secara merata meskipun potensi literasi dasar mahasiswa tergolong tinggi. Kedua, kesenjangan metode: pembelajaran memerlukan adopsi strategi analogi kontekstual secara sistematis agar konsep-konsep BMS dapat dikaitkan secara bermakna dengan pengetahuan teknik yang telah dimiliki mahasiswa. Ketiga, kesenjangan fasilitas: keterbatasan perangkat praktikum fisik dapat diatasi melalui pemanfaatan simulasi BMS berbasis perangkat lunak seperti *Battery Model Toolbox* atau MATLAB/Simulink, yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem baterai kendaraan listrik (Suyetno & Yoto, 2021). Ketiga rekomendasi ini selaras dengan semangat Kurikulum Merdeka yang mengedepankan pembelajaran berbasis proyek dan berbasis kasus dalam pendidikan vokasional (Kemendikbudristek, 2023), sekaligus sejalan dengan visi penguatan sinergi antara perguruan tinggi dan industri otomotif yang diadvokasi oleh (Yoto et al., 2024).

KETERBATASAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki keterbatasan utama pada ukuran sampel yang terbatas ($N = 45$) yang diambil dari satu program studi di satu institusi perguruan tinggi melalui teknik purposive sampling. Oleh karena itu, hasil pemetaan literasi teknologi dan kesiapan pedagogis dalam penelitian ini belum dapat digeneralisasikan secara luas untuk memotret kondisi seluruh mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin secara nasional. Kajian di masa depan perlu melibatkan sampel yang lebih besar lintas institusi untuk

memvalidasi temuan ini secara lebih komprehensif.

KESIMPULAN

Penelitian ini memetakan literasi kognitif BMS dan kesiapan pedagogis mahasiswa PTM Universitas Negeri Gorontalo. Temuan penting menunjukkan bahwa literasi kognitif secara umum telah berada pada kategori Tinggi, sedangkan kesiapan pedagogis berada pada kategori Cukup Siap. Temuan ini mengisyaratkan bahwa mahasiswa telah memiliki bekal awal teoritis yang kuat, namun tetap membutuhkan penguatan aspek-aspek aplikasi yang lebih spesifik untuk siap menjadi guru SMK yang kompeten di era elektrifikasi kendaraan.

Kesenjangan paling mencolok ditemukan antara kesiapan instrumental yang relatif baik tercermin dari kepercayaan diri dalam pemanfaatan media digital dan pengelolaan keselamatan kerja bengkel EV dengan penguasaan konten teknis yang masih terbatas, khususnya pada topik manajemen termal, algoritma *State of Health*, dan mekanisme *cell balancing*. Kesenjangan ini bersifat kurikuler, bukan motivasional, mengingat motivasi dan kesadaran pedagogis mahasiswa justru tergolong tinggi. Di sisi lain, pendekatan analogi kontekstual terkonfirmasi efektif dalam membangun pemahaman konseptual mahasiswa terhadap materi BMS, dan karenanya layak dijadikan landasan dalam pengembangan strategi pembelajaran ke depan.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini merekomendasikan integrasi topik BMS secara eksplisit ke dalam capaian pembelajaran mata kuliah Kelistrikan Otomotif, pengembangan modul berbasis analogi kontekstual yang dilengkapi simulasi digital, serta penguatan kemitraan dengan industri kendaraan listrik untuk mendukung akses praktikum berbasis teknologi nyata. Kajian lanjutan yang mengembangkan dan menguji perangkat pembelajaran BMS berbasis *Project-Based Learning* sangat direkomendasikan sebagai tindak lanjut dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2020). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik* (Edisi Revisi ke-2). Rineka Cipta.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (6th ed.). Sage Publications.
- Gabbar, H. A., Othman, A. M., & Abdussami, M. R. (2021). Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards. *Technologies*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/technologies9020028>
- Hardiyanta, R. A. P., Hermanto, H., Kurniawan, A., Purnawan, P., & Prakoso, I. E. (2024). Development of The Automotive Technology Vocational Education Curriculum Based on Current Needs of The Automotive Industry. *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, 6(2), 39–48. <https://doi.org/10.21831/jpvo.v6i2.73156>
- Kemendikbudristek. (2023). Keputusan Kepala BSKAP Nomor 033/H/KR/2023 tentang

- Capaian Pembelajaran pada Kurikulum Merdeka. In *Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. [https://doi.org/10.1290/1543-706x\(2006\)42\[39-ad:p\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1290/1543-706x(2006)42[39-ad:p]2.0.co;2)
- Kementerian Keuangan RI. (2026). Laporan Nota Keuangan dan APBN 2026: Strategi Subsidi Energi di Tengah Fluktuasi Harga Minyak Dunia. In *Kemenkeu Press*.
- Mumtaz Noreen, M. T., Fouladfar, M. H., & Saeed, N. (2024). Evaluation of Battery Management Systems for Electric Vehicles Using Traditional and Modern Estimation Methods. *Network*, 4(4), 586–608. <https://doi.org/10.3390/network4040029>
- Nuarta, I. N., & Sukedi, M. (2024). Kebijakan Hukum Pengaturan Penggunaan Kendaraan Listrik Dalam Penguatan Ketahanan Energi Nasional. *Jurnal Preferensi Hukum*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.22225/jph.5.2.10413.145-154>
- Nugroho, A. D., Alim, M. S., Sundari, S., & Soekarno, G. R. (2023). Kebijakan Dekarbonisasi Sistem Energi Indonesia pada Sektor Energi Terbarukan. *Cakrawala*, 17(2), 109–125. <https://doi.org/10.32781/cakrawala.v17i2.539>
- Intang, S. B. (2023). Validitas dan Reliabilitas Instrumen Penelitian Pendidikan. In *Universitas Negeri Makassar Press*. Universitas Negeri Makassar Press.
- Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (Edisi ke-3)*. Alfabeta.
- Suyetno, A., & Yoto. (2021). Learning media development based on CNC simulator as the digital tool to support the CNC practice learning during COVID-19 new normal. *Journal of Physics: Conference Series*, 1833(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1833/1/012009>
- Thangavel, S., Mohanraj, D., Girijaprasanna, T., Raju, S., Dhanamjayulu, C., & Muyeen, S. M. (2023). A Comprehensive Review on Electric Vehicle: Battery Management System, Charging Station, Traction Motors. *IEEE Access*, 11(January), 20994–21019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3250221>
- Tian, J., Xiong, R., Shen, W., Lu, J., & Yang, X. G. (2021). Deep neural network battery charging curve prediction using 30 points collected in 10 min. *Joule*, 5(6), 1521–1534. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.05.012>
- Williams, M. K., Christensen, R., Mcelroy, D., & Rutledge, D. (2023). Teacher self-efficacy in technology integration as a critical component in designing technology-infused teacher preparation programs. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 23(1), 228–259.
- Yoto, Marsono, Suyetno, A., Mawangi, P. A. N., Romadin, A., & Paryono. (2024). The role of industry to unlock the potential of the Merdeka curriculum for vocational school. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2335820>
- Yusuf, A. M. (2022). *Metode Penelitian: Kuantitatif, Kualitatif, dan Penelitian Gabungan*.
- Zhao, Y., Wang, Z., Yan, L., Sun, Z., Liu, P., Zhang, L., & Li, W. (2025). Bridging battery degradation and safety: Challenges and opportunities. *ETransportation*, 26(September), 100497. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2025.100497>