EDUTECH

Jurnal Teknologi Pendidikan

Journal homepage https://ejournal.upi.edu/index.php/edutech

Analisis Media Pembelajaran Energi Terbarukan Berbasis IoT untuk Penguatan Green Skills pada Pendidikan Vokasi

Rahima Mahabbah*, Siswo Wardoyo, Suhendar, Supriyanto
Pendidikan Vokasi Keteknikan, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia
*Correspondence: e-mail: araa19059@gmail.com, siswo@untirta.ac.id, suhendar@untirta.ac.id, supriyanto@untirta.ac.id

ABSTRACT

This study analyzes the need for Internet of Things (IoT)-based renewable energy learning media to strengthen green skills in vocational electrical engineering schools. Data were collected in three vocational schools in Banten Province through observation, semi-structured interviews, documentation, and a questionnaire involving 30 productive teachers. Results show very high demand for real-time renewable energy learning media (91%), IoT integration in practical learning (88%), green-skills reinforcement (86%), and a smart monitoring renewable microgrid system for work readiness (93%). The composite need index reached 89.5%. The study proposes a conceptual trainer integrating photovoltaic modules, electrical sensors, ESP32, cloud monitoring, digital dashboards, and learning analytics as a pedagogical bridge between conventional electrical practice and green industry competence.

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis kebutuhan media pembelajaran energi terbarukan berbasis Internet of Things (IoT) untuk memperkuat green skills siswa SMK teknik ketenagalistrikan. Studi dilakukan pada tiga SMK di Provinsi Banten melalui observasi, wawancara semi-terstruktur, dokumentasi, dan angket kepada 30 guru produktif. Hasil menunjukkan kebutuhan sangat tinggi terhadap media energi terbarukan dengan monitoring real-time (91%), integrasi IoT dalam praktik (88%), penguatan green skills (86%), dan sistem smart monitoring renewable microgrid untuk kesiapan kerja (93%). Indeks kebutuhan komposit mencapai 89,5%. Studi ini mengusulkan trainer konseptual yang mengintegrasikan modul fotovoltaik, sensor listrik, ESP32, cloud monitoring, dashboard digital, dan learning analytics sebagai jembatan

ARTICLE INFO

Article History:
Submitted/Received 7 Augs 2026
First Revised 11 Sept 2026
Accepted 1 Oct 2026
First Available online 31 Oct 2026
Publication Date 31 Oct 2026

Keyword:
Renewable energy learning media,
Internet of Things,
Vocational education,
Green skills,
Smart monitoring.

pedagogis antara praktik listrik konvensional dan kompetensi industri hijau.

© 2025 Teknologi Pendidikan UPI

1. PENDAHULUAN

Transisi energi global sedang membentuk kembali struktur kompetensi pekerjaan teknik elektro dan, akibatnya misi pendidikan kejuruan. Teknologi energi terbarukan, pembangkitan terdistribusi, jaringan pintar, pengukuran digital, penyimpanan energi, infrastruktur mobilitas yang didukung energi terbarukan, dan kontrol mikrogrid telah bergeser dari aplikasi spesialis menjadi elemen sentral sistem tenaga modern. Bagi sekolah kejuruan teknik elektro, pergeseran ini bukan hanya perkembangan teknologi di luar ruang kelas; ini merupakan tantangan langsung terhadap relevansi pembelajaran praktis berbasis sekolah. Siswa yang hanya dipersiapkan melalui instalasi konvensional, pengukuran manual, dan kontrol dasar mungkin memperoleh kemampuan dasar yang penting, tetapi mereka mungkin tidak cukup siap untuk tempat kerja di mana sistem energi semakin dipantau, dioptimalkan, dan didiagnosis melalui platform digital yang terhubung. Penelitian tentang infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik yang didukung energi terbarukan, misalnya, menggambarkan bagaimana sistem fotovoltaik, penyimpanan energi, perencanaan spasial, dan keandalan jaringan semakin diperlakukan sebagai masalah sistem energi terintegrasi daripada perangkat yang terisolasi (Leong, 2026).

Relevansi isu ini diperkuat oleh studi-studi terbaru tentang keterampilan transisi energi. Di ASEAN, perluasan lapangan kerja energi terbarukan diproyeksikan membutuhkan tenaga kerja terampil yang besar, sementara sistem pendidikan menunjukkan kesiapan yang tidak merata untuk mempersiapkan peserta didik untuk pekerjaan di bidang energi terbarukan (Bilqis et al., 2024). Analisis modal manusia yang lebih luas juga menunjukkan bahwa pendidikan kejuruan dapat memperkuat manfaat lingkungan dari transisi energi terbarukan ketika pelatihan diselaraskan dengan inisiatif energi terbarukan (Lee et al., 2025). Temuan ini menyiratkan bahwa adopsi energi terbarukan tidak dapat dipisahkan dari sistem pendidikan dan pelatihan yang mempersiapkan teknisi, operator, dan pekerja tingkat menengah. Transisi energi terbarukan tanpa jalur pembelajaran kejuruan yang tepat berisiko menghasilkan transisi yang kaya teknologi tetapi miskin keterampilan.

Oleh karena itu, green skills telah menjadi perhatian utama dalam pendidikan. Di bidang pekerjaan kelistrikan dan elektronika, green skills tidak hanya mencakup pengetahuan tentang energi terbarukan tetapi juga keterampilan teknis, komunikasi, kapasitas intelektual, dan kompetensi interpersonal yang berkaitan dengan pekerjaan (Cledumas et al., 2020). Studi sektoral lainnya juga mengidentifikasi kompetensi kognitif, teknologi, interpersonal, kerja, dan spesifik sebagai elemen penting dari kompetensi hijau (Ismail et al., 2023). Penelitian yang berorientasi pada pemberi kerja menambahkan bahwa transisi hijau tidak hanya membutuhkan keterampilan teknis baru tetapi juga keterampilan yang dapat ditransfer antar tingkatan organisasi (Strachan et al., 2022). Secara keseluruhan, studi-studi ini menunjukkan bahwa green skills harus dioperasionalkan sebagai kompetensi terintegrasi: kemampuan untuk memahami teknologi berkelanjutan, menggunakan data dan alat, berkolaborasi dalam lingkungan teknis, dan membuat keputusan yang konsisten dengan tujuan lingkungan.

Sekolah kejuruan berada pada posisi strategis untuk mengembangkan kompetensi ini karena mereka menerjemahkan perubahan teknologi ke dalam pembelajaran praktis. Namun, penerjemahan ini seringkali sulit. Keberlanjutan dan rekayasa hijau secara luas

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

diakui sebagai prioritas pendidikan, namun integrasinya ke dalam kurikulum teknik masih belum konsisten karena kesenjangan kurikulum, pengalaman praktik yang terbatas, kolaborasi industri yang lemah, dan persiapan fakultas yang tidak memadai (Fiandini et al., 2025). Dalam pendidikan energi terbarukan, pelatihan jangka pendek dapat memberikan keterampilan teknis langsung tetapi mungkin kurang mendalam, sedangkan jalur pelatihan campuran dan berbasis proyek diperlukan untuk mempersiapkan para profesional teknik surya yang holistik (Pasipamire et al., 2025). Dalam kurikulum teknik, pemilihan dan pengurutan pengetahuan juga penting karena bentuk pengetahuan yang kurang terhubung dapat membatasi pembelajaran kumulatif dalam teknologi energi terbarukan (Winberg & Hollis-Turner, 2023). Temuan ini menunjukkan bahwa inovasi kejuruan membutuhkan lebih dari sekadar menambahkan topik baru; dibutuhkan sistem pembelajaran yang menghubungkan kurikulum, alat, praktik, dan kompetensi.

Teknologi Internet of Things (IoT) menyediakan jalur yang menjanjikan untuk menjadikan pembelajaran energi terbarukan lebih autentik dan kaya data. Dalam sistem energi yang didukung IoT, sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, platform cloud, dan dasbor terhubung untuk mengumpulkan dan memvisualisasikan tegangan, arus, daya, suhu, status baterai, dan variasi beban secara real-time. Studi tentang pemantauan fotovoltaik dan mikrogrid berbasis IoT menunjukkan bahwa sistem IoT berbiaya rendah dapat memantau variabel iklim dan pembangkitan fotovoltaik untuk aplikasi smart grid (Brito et al., 2021), platform real-time dapat mendukung pemantauan sumber daya energi terdistribusi di mikrogrid (Hosseinzadeh et al., 2021), dan mikrogrid cerdas dapat menggunakan IoT untuk manajemen dan analisis energi (Sitharthan et al., 2023). Studi-studi teknis ini menawarkan dasar untuk adaptasi pendidikan karena prinsip-prinsip pemantauan yang sama dapat diubah menjadi tugas pembelajaran.

Nilai pedagogis IoT dalam pembelajaran kejuruan terletak pada kemampuannya untuk mengubah pengukuran menjadi penyelidikan. Dalam pembelajaran praktik konvensional, siswa mungkin mencatat besaran listrik secara manual, seringkali sebagai angka terisolasi. Namun, dalam lingkungan pemantauan cerdas, siswa dapat mengamati perubahan data, membandingkan kondisi, mendiagnosis pola, dan menghubungkan kinerja sistem dengan efisiensi energi. Teknologi digital dapat memperkuat pembelajaran ketika diintegrasikan ke dalam desain pedagogis yang bermakna daripada diperlakukan sebagai alat dekoratif (Timotheou et al., 2022). Dalam pembelajaran kelistrikan kejuruan, materi pengajaran digital juga dapat mendukung pendekatan berbasis masalah ketika dihubungkan dengan masalah kelistrikan yang otentik (Ramdani et al., 2021). Oleh karena itu, media energi terbarukan berbasis IoT tidak boleh dipandang hanya sebagai perangkat keras, tetapi sebagai sistem pedagogis yang menyusun pengamatan, analisis, pemecahan masalah, dan penalaran keberlanjutan.

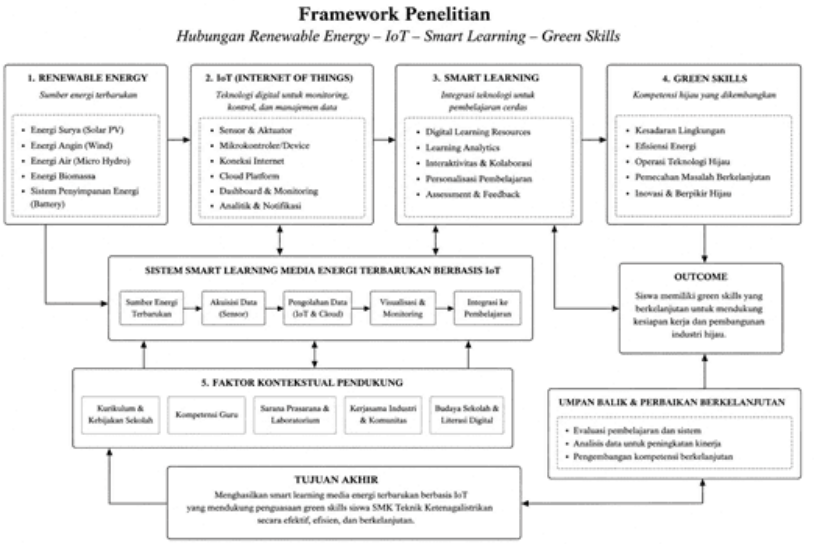
Konteks Indonesia memberikan urgensi khusus pada isu ini. Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) diharapkan dapat mempersiapkan lulusan yang kompetensinya selaras dengan kebutuhan industri melalui prinsip keterkaitan dan kesesuaian (Ahmanda et al., 2022). Dalam program teknik elektro, keselarasan ini semakin membutuhkan paparan terhadap energi terbarukan, pemantauan berbasis sensor, dasbor digital, dan sistem energi cerdas. Namun, kondisi awal di tiga sekolah kejuruan teknik elektro di Provinsi Banten menunjukkan kendala yang cukup besar. Fasilitas praktik energi terbarukan masih terbatas, pelatihan mikrogrid energi terbarukan berbasis IoT tidak tersedia, pemantauan masih manual, dan pembelajaran energi terbarukan seringkali bersifat teoritis. Akibatnya, siswa belum memperoleh pengalaman yang cukup dalam

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

pemantauan waktu nyata, interpretasi data energi, atau integrasi energi terbarukan dan IoT.

Studi-studi sebelumnya memberikan panduan penting namun tidak lengkap untuk masalah ini. Pemantauan energi terbarukan berbasis IoT telah banyak dibahas dalam konteks teknis, termasuk pemantauan energi surya dan manajemen mikrogrid (Brito et al., 2021)(Hosseinzadeh et al., 2021)(Rani et al., 2023)(Sitharthan et al., 2023). Karya yang berorientasi pendidikan telah mempertimbangkan materi pengajaran digital dalam bidang kelistrikan kejuruan (Ramdani et al., 2021), perangkat praktikum energi terbarukan (Widiyanto & Asnawi, 2022), dan proyek STEAM–SDGs yang melibatkan pembelajaran rumah pintar berbasis energi terbarukan (Patonah et al., 2025). Namun, penelitian masih terbatas pada kebutuhan spesifik guru teknik elektro kejuruan untuk media pembelajaran yang menggabungkan praktik mikrogrid energi terbarukan, pemantauan cerdas berbasis IoT, keterampilan hijau, dan kesiapan industri dalam konteks SMK.

Studi ini mengatasi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis kebutuhan dan mengembangkan arah konseptual yang berlandaskan literatur untuk media pembelajaran energi terbarukan cerdas berbasis IoT. Kebaruannya terletak pada pengintegrasian empat domain yang seringkali diperlakukan secara terpisah: praktik energi terbarukan, pemantauan berbasis IoT, pembelajaran kejuruan cerdas, dan pembentukan keterampilan hijau. Studi ini tidak hanya mengusulkan alat bantu pelatihan teknis; studi ini menganalisis mengapa alat bantu pelatihan tersebut dibutuhkan, kesenjangan kompetensi apa yang harus diatasi, dan bagaimana alat bantu pelatihan tersebut dapat berfungsi sebagai jembatan antara laboratorium sekolah dan pekerjaan energi hijau yang sedang berkembang. Oleh karena itu, studi ini mengajukan pertanyaan: (1) Bagaimana kondisi terkini pembelajaran praktis energi terbarukan dan IoT di sekolah-sekolah teknik elektro kejuruan? (2) Seberapa besar kebutuhan yang dilaporkan oleh guru terhadap media pembelajaran energi terbarukan berbasis IoT? (3) Kesenjangan kompetensi apa yang ada antara praktik pembelajaran saat ini dan persyaratan industri hijau? dan (4) Desain media konseptual apa yang menjawab kebutuhan tersebut?



Gambar 1. Framework penelitian hubungan renewable energy, IoT, smart learning, dan green skills.

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

2. METODE

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif deskriptif yang didukung oleh data analisis kebutuhan kuantitatif agregat. Penelitian ini diposisikan dalam fase Analisis model ADDIE. ADDIE digunakan karena dimulai dengan identifikasi sistematis kebutuhan, peserta didik, konteks, dan kesenjangan kinerja sebelum beralih ke desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi (Branch, 2009). Studi ini dilakukan dari Januari hingga Maret 2026 di tiga SMK di Provinsi Banten yang menawarkan program studi teknik elektro. Lokasi penelitian terdiri dari satu SMK negeri dan dua SMK swasta.

Partisipan penelitian terdiri atas 30 guru produktif bidang teknik elektro yang dipilih secara purposive, sedangkan validasi instrumen melibatkan tiga orang ahli yang memiliki relevansi dengan bidang pendidikan vokasi, teknik elektro, dan/atau pengembangan media pembelajaran. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara semi-terstruktur, kuesioner kebutuhan guru, dan dokumentasi. Instrumen kuesioner disusun berdasarkan enam dimensi yang berkaitan dengan kebutuhan media pembelajaran energi terbarukan berbasis IoT, yaitu renewable energy education, IoT learning, smart monitoring, green skills, smart vocational learning, dan industry readiness. Kuesioner terdiri atas 24 butir pernyataan dengan skala Likert 1–5, sehingga setiap dimensi terdiri atas empat butir.

Tabel 1. Kisi-kisi instrumen kuesioner analisis kebutuhan.

Dimensi	Fokus Indikator	Nomor Item	Jumlah
Renewable Energy Education	Kebutuhan media praktik energi terbarukan	1-4	4
IoT Learning	Integrasi sensor, mikrokontroler dan konektivitas IoT	5-8	4
Smart Monitoring	Kebutuhan pemantauan parameter kelistrikan secara real-time	9-12	4
Green Skills	Efisiensi energi, keberlanjutan kompetensi teknologi hijau	13-16	4
Smart Vocational Learning	Pembelajaran Praktis yang interaktif dan konstektual	21-24	4

Validitas isi instrumen dilakukan melalui expert judgment oleh tiga ahli. Penilaian menggunakan skala 1–5 dan dianalisis menggunakan koefisien Aiken's V dengan rumus:

$$V = \frac{\sum s}{n(c-1)} \tag{1}$$

dengan:

V = koefisien validitas Aiken
s = $r - l_o$
r = skor yang diberikan oleh validator
l_o = skor terendah dalam skala penilaian
n = jumlah validator
c = jumlah kategori skor

Karena penelitianmu menggunakan skala 1–5 dan ada 3 validator, maka:

$$l_o = 1$$

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

$$c = 5$$
$$n = 3$$

jumlah item = 24

Berdasarkan penilaian tiga ahli terhadap 24 butir, diperoleh nilai Aiken's V sebesar 0,875.

Setelah instrumen dinyatakan layak berdasarkan validitas isi, reliabilitas instrumen dianalisis menggunakan koefisien Cronbach's Alpha berdasarkan data jawaban 30 guru pada 24 butir pernyataan.

Data dikumpulkan melalui observasi kondisi pembelajaran dan fasilitas praktik, wawancara dengan guru, penyebaran kuesioner melalui Google Form, serta dokumentasi. Data kuesioner dianalisis secara deskriptif menggunakan persentase untuk menggambarkan tingkat kebutuhan guru terhadap media pembelajaran yang dikembangkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan menunjukkan bahwa kebutuhan akan media pembelajaran energi terbarukan berbasis IoT bukanlah masalah satu fasilitas saja, melainkan kesenjangan pendidikan multidimensional. Bukti dari observasi, wawancara, dan hasil kuesioner mengarah pada tiga isu. Pertama, pembelajaran praktis belum mencerminkan orientasi digital dan energi terbarukan dari sektor energi kontemporer. Kedua, para guru menyadari urgensi pemantauan waktu nyata, integrasi IoT, dan praktik mikrogrid energi terbarukan. Ketiga, media yang diusulkan harus dirancang sebagai sistem pembelajaran yang memperkuat keterampilan hijau dan kesiapan kerja, bukan hanya sebagai tampilan peralatan energi terbarukan.

3.1. Kondisi Terkini Energi Terbarukan dan Pembelajaran Praktik IoT

Hasil observasi menunjukkan bahwa pembelajaran praktik teknik elektro di ketiga sekolah tersebut belum sepenuhnya mencerminkan transformasi teknologi sektor energi. Kegiatan praktik masih didominasi oleh instalasi listrik konvensional, pengukuran manual, dan sistem kontrol sederhana. Kegiatan-kegiatan ini mendasar dan tidak boleh ditinggalkan, tetapi belum memperkenalkan siswa pada pengoperasian mikrogrid energi terbarukan, pemantauan berbasis IoT, atau visualisasi data energi secara real-time. Konten energi terbarukan umumnya diperkenalkan melalui penjelasan di kelas, slide, atau demonstrasi terbatas, bukan melalui sistem terintegrasi yang dapat dioperasikan dan dianalisis oleh siswa.

Temuan observasi tersebut diperkuat oleh hasil wawancara semi-terstruktur dengan guru produktif. Wawancara menunjukkan bahwa keterbatasan utama tidak hanya berkaitan dengan ketersediaan peralatan, tetapi juga dengan belum tersedianya media yang mampu mengintegrasikan praktik energi terbarukan dengan teknologi monitoring digital. Salah satu informan menyampaikan, "Sekolah kami belum memiliki trainer yang menggunakan IoT" (Guru 1). Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran praktik belum didukung oleh perangkat yang memungkinkan siswa mengoperasikan dan mengamati sistem energi terbarukan secara terintegrasi.

Keterbatasan penggunaan monitoring digital juga muncul dalam wawancara. Guru lainnya menjelaskan, "Yang kami miliki hanya trainer pembangkit listrik tenaga surya saja, dan untuk pengukurannya masih kovensional menggunakan multimeter analog" (Guru 2). Temuan ini memperkuat hasil observasi bahwa proses pengukuran masih banyak dilakukan menggunakan instrumen konvensional dan pencatatan manual.

Dari sisi pembelajaran IoT, informan mengungkapkan bahwa "Untuk pembelajaran mengenai IoT hanya sekilas saja kami ajarkan untuk penganalan saja, karna keterbatasan

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

media praktiknya" (Guru 3). Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan terhadap media yang tidak hanya memperkenalkan konsep IoT secara teoritis, tetapi memungkinkan siswa mengalami proses akuisisi, pemantauan, dan interpretasi data secara langsung.

Kebutuhan terhadap media praktik yang lebih kontekstual juga terlihat dari pernyataan informan lain yang menyebutkan, "Dalam pembelajaran energi terbarukan, siswa masih membutuhkan media praktik yang lebih interaktif dan kontekstual. Selama ini pembelajaran lebih banyak menggunakan penjelasan teori dan media yang tersedia belum dapat menunjukkan kondisi sistem secara langsung. Kalau ada trainer renewable microgrid yang dilengkapi monitoring berbasis IoT, siswa bisa melihat parameter sistem secara langsung melalui perangkat yang mereka gunakan, sehingga lebih mudah memahami hubungan antara teori dengan kondisi nyata." (Guru 4). Pernyataan tersebut mengindikasikan bahwa media pembelajaran perlu dirancang agar siswa tidak hanya mengamati sistem, tetapi juga melakukan praktik dan menganalisis kondisi sistem berdasarkan data yang diperoleh.

Sekolah negeri memiliki kondisi laboratorium umum yang lebih baik daripada dua sekolah swasta, tetapi perbedaan ini tidak menghilangkan masalah utama. Di semua lokasi, tidak ada sekolah yang memiliki alat pelatihan mikrogrid energi terbarukan dengan smart monitorin yang lengkap yang mengintegrasikan pembangkitan fotovoltaik, pengukuran berbasis sensor, pemrosesan mikrokontroler, komunikasi cloud, dan visualisasi dasbor digital. Dengan demikian, hasil wawancara dan observasi menunjukkan pola yang konsisten bahwa fasilitas yang tersedia telah mendukung pembelajaran instalasi listrik dasar, tetapi belum sepenuhnya menyediakan pengalaman praktik mengenai bagaimana sistem energi terbarukan modern dipantau dan dikelola secara digital.

Selain keterbatasan fasilitas, wawancara juga menunjukkan adanya kebutuhan untuk menghubungkan praktik energi terbarukan dengan keterampilan hijau dan kesiapan kerja. Salah satu informan menyatakan, "Siswa sekarang perlu dibekali keterampilan yang mengikuti perkembangan industri, terutama di bidang energi terbarukan. Jadi bukan hanya bisa memasang atau merangkai, tetapi juga harus memahami bagaimana sistemnya bekerja dan bagaimana melakukan monitoring" (Guru 5). Informan lain menambahkan, "Kalau siswa terbiasa praktik menggunakan teknologi yang mendekati kondisi di industri, mereka akan lebih siap ketika masuk dunia kerja. Karena sekarang sistem kelistrikan sudah mulai terintegrasi dengan teknologi digital, jadi siswa juga perlu mengenal monitoring dan pengambilan data secara langsung" (Guru 6). Kedua pernyataan tersebut memperkuat temuan kuantitatif bahwa kebutuhan media tidak hanya berkaitan dengan penguasaan teknologi, tetapi juga dengan pembentukan kompetensi yang relevan dengan perkembangan sektor energi.

Secara keseluruhan, hasil wawancara menunjukkan tiga pola utama, yaitu (1) keterbatasan media praktik energi terbarukan yang terintegrasi, (2) dominannya pemantauan dan pengukuran secara manual, dan (3) perlunya media yang menghubungkan IoT, green skills, dan kesiapan kerja. Pola tersebut selanjutnya ditriangulasi dengan hasil observasi dan kuesioner untuk memperoleh gambaran kebutuhan media pembelajaran secara lebih komprehensif.

Guru melaporkan bahwa fasilitas yang ada mendukung pembelajaran instalasi listrik dasar, tetapi tidak cukup untuk mendemonstrasikan bagaimana sistem energi terbarukan modern dipantau dan dikelola. Temuan ini menunjukkan bahwa kebutuhan pengembangan bersifat sistemik dan bukan hanya terbatas pada satu kategori sekolah.

Pemantauan manual tetap menjadi praktik dominan di laboratorium observasi. Siswa biasanya mengukur besaran listrik menggunakan instrumen konvensional dan

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

mencatat nilainya secara manual. Praktik ini berguna untuk mempelajari keterampilan pengukuran dasar, namun tidak mewakili lingkungan data kontinu yang digunakan dalam sistem energi modern. Pengukuran manual membatasi kesempatan siswa untuk menginterpretasikan data deret waktu, mengamati perubahan dinamis, membandingkan perilaku beban, dan menghubungkan efisiensi energi dengan keputusan berbasis data. Akibatnya, pembelajaran dapat menghasilkan kompetensi pengukuran prosedural tanpa mengembangkan kompetensi analitis yang memadai dalam pemantauan energi digital.

Data wawancara memperkuat interpretasi ini. Guru menggambarkan industri energi sebagai industri yang semakin digital, berbasis sensor, dan berorientasi pada keberlanjutan, sementara laboratorium sekolah tetap dibatasi oleh keterbatasan peralatan dan anggaran. Guru juga mencatat bahwa siswa terbiasa dengan perangkat digital dalam kehidupan sehari-hari, tetapi keakraban ini tidak secara otomatis diubah menjadi kompetensi digital teknis di laboratorium. Oleh karena itu, tidak adanya media pembelajaran berbasis IoT merupakan peluang pedagogis yang terlewatkan, siswa yang aktif secara digital di luar sekolah belum dilatih secara sistematis untuk menggunakan teknologi digital untuk diagnosis teknik dan analisis energi berkelanjutan.

Kondisi ini konsisten dengan penelitian yang lebih luas tentang sistem keterampilan dalam transisi energi. Tinjauan sistematis tentang pengembangan keterampilan dalam transisi energi berkelanjutan mengidentifikasi kurikulum yang ketinggalan zaman, koordinasi yang terfragmentasi, dan kurangnya investasi dalam pelatihan sebagai hambatan yang terus-menerus (Weishaupt & Quiceno-Soto, 2026). Studi di sektor energi surya yang sedang berkembang juga menunjukkan bahwa jalur pembelajaran seringkali terfragmentasi dan dibutuhkan hubungan yang lebih kuat antara pendidikan dan pekerjaan untuk memungkinkan akses ke pekerjaan ramah lingkungan . Konteks sekolah di Banten mencerminkan pola yang lebih besar ini pada tingkat kelembagaan: transisi teknologi terjadi lebih cepat daripada infrastruktur pembelajaran praktis.

3.2. Kebutuhan Guru akan Media Pembelajaran Energi Terbarukan yang Cerdas

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa kebutuhan guru terhadap media pembelajaran energi terbarukan berbasis IoT berada pada tingkat tinggi pada seluruh dimensi yang dianalisis. Empat aspek prioritas memperoleh skor agregat sebesar 91% untuk kebutuhan media pembelajaran energi terbarukan secara real-time, 88% untuk implementasi IoT dalam pembelajaran praktik, 86% untuk dukungan terhadap green skills, dan 93% untuk smart monitoring renewable microgrid dalam mendukung kesiapan kerja siswa. Dengan demikian, kebutuhan tertinggi terdapat pada aspek smart monitoring renewable microgrid untuk kesiapan kerja (93%), sedangkan kebutuhan terendah terdapat pada aspek dukungan green skills (86%).

Tabel 2. Hasil analisis kebutuhan deskriptif berdasarkan skor agregat (n = 30 guru).

Peringkat	Dimensi Kebutuhan	Skor (%)	Interpretasi
1	Smart monitoring renewable microgrid untuk kesiapan kerja	93	Sangat Tinggi
2	Media pembelajaran energi terbarukan secara real-time	91	Sangat Tinggi
3	Implementasi IoT dalam pembelajaran praktik	88	Sangat tinggi
4	Dukungan terhadap green skills	86	Sangat tinggi
	Indeks kebutuhan komposit	89,5	Sangat tinggi

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

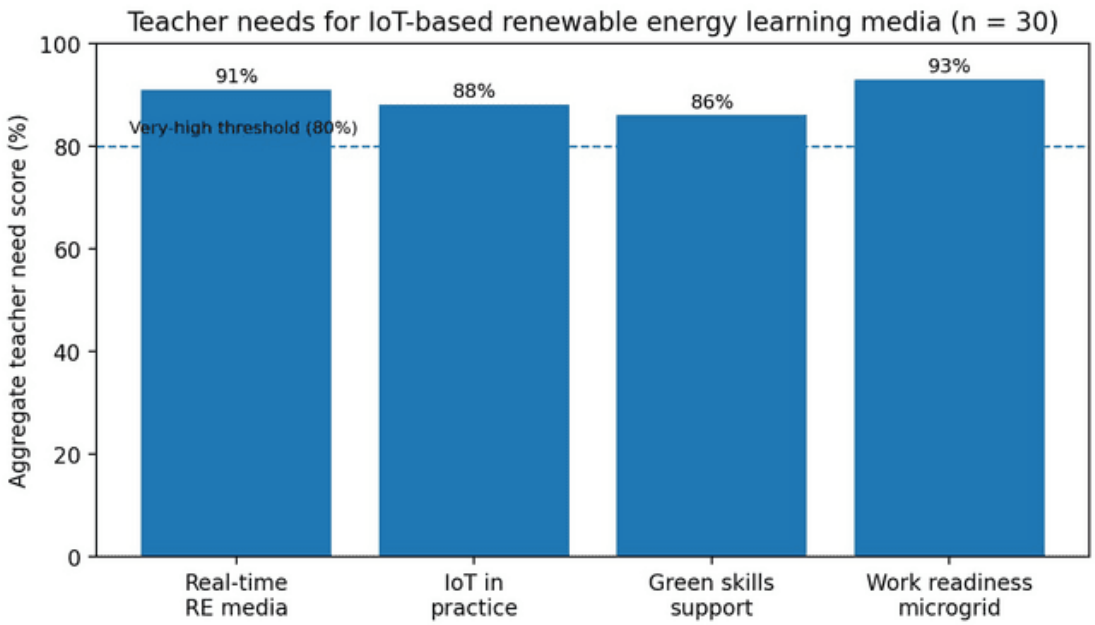
Peringkat tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan guru tidak hanya berorientasi pada keberadaan teknologi, tetapi juga pada fungsi media dalam membentuk kompetensi yang relevan dengan dunia kerja. Skor 93% pada aspek smart monitoring renewable microgrid menunjukkan bahwa keterkaitan antara teknologi pemantauan, praktik sistem energi terbarukan, dan kesiapan kerja menjadi kebutuhan yang paling menonjol. Sementara itu, skor 91% pada media pembelajaran energi terbarukan secara real-time menunjukkan kebutuhan terhadap media yang mampu menghadirkan kondisi sistem energi secara dinamis sehingga siswa dapat mengamati perubahan parameter kelistrikan selama praktik.

Selisih antara skor tertinggi dan terendah adalah 7 poin persentase (93%–86%), dengan standar deviasi sebesar 3,11 poin persentase. Rentang yang relatif sempit tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan guru tersebar pada seluruh aspek yang dianalisis dan tidak hanya terkonsentrasi pada satu dimensi. Dengan kata lain, energi terbarukan, IoT, smart monitoring, green skills, dan kesiapan kerja dipandang sebagai komponen yang saling berkaitan dalam pembelajaran praktik.

Secara pedagogis, temuan tersebut menunjukkan bahwa media yang dibutuhkan tidak cukup hanya berfungsi sebagai alat demonstrasi energi terbarukan. Media perlu dirancang sebagai lingkungan praktik yang memungkinkan siswa mengoperasikan sistem, memperoleh data secara real-time, mengamati perubahan tegangan, arus, dan daya, serta menginterpretasikan data tersebut dalam konteks efisiensi dan keberlanjutan energi. Integrasi IoT juga memberikan peluang bagi siswa untuk mengenal proses akuisisi data, pemantauan digital, dan interpretasi kondisi sistem yang lebih dekat dengan karakteristik teknologi energi modern.

Temuan pada setiap dimensi selanjutnya menjadi dasar dalam menentukan karakteristik media yang dikembangkan. Skor 91% mengarah pada kebutuhan visualisasi parameter energi secara real-time; skor 88% menunjukkan perlunya integrasi sensor, mikrokontroler, konektivitas, dan dashboard; skor 86% menunjukkan perlunya aktivitas pembelajaran yang mengaitkan praktik teknis dengan efisiensi dan keberlanjutan; sedangkan skor 93% menegaskan pentingnya simulasi monitoring dan diagnosis sistem yang relevan dengan lingkungan kerja. Dengan demikian, hasil analisis kebutuhan memberikan dasar pedagogis dan teknis bagi perancangan trainer smart monitoring renewable microgrid.

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781



Gambar 2. Peringkat kebutuhan guru terhadap media pembelajaran energi terbarukan berbasis IoT.

Pola pada Tabel 2 dan Gambar 2 memperlihatkan bahwa kebutuhan guru bersifat multidimensional. Tingginya skor pada seluruh aspek menunjukkan bahwa integrasi energi terbarukan, IoT, smart monitoring, green skills, dan kesiapan kerja tidak dipandang sebagai kebutuhan yang berdiri sendiri. Oleh karena itu, media pembelajaran yang dikembangkan perlu mengintegrasikan fungsi teknis dan pedagogis secara bersamaan, sehingga teknologi monitoring tidak hanya digunakan untuk menampilkan data, tetapi juga menjadi bagian dari aktivitas praktik, analisis, pemecahan masalah, dan penguatan kompetensi kerja siswa.

Temuan ini selaras dengan studi yang menunjukkan bahwa transisi energi hijau menciptakan tuntutan pelatihan baru bagi pekerja dan sistem pendidikan. Penelitian tentang kebijakan transisi yang adil di Yunani, Siprus, dan Bulgaria, misalnya, menyoroti kebutuhan pembelajaran bagi pekerja yang beralih dari sektor energi berkarbon tinggi ke konteks energi terbarukan (Apostolopoulos et al., 2023). Temuan serupa dari Inggris menunjukkan bahwa akses ke pelatihan, sertifikasi, dan jalur pekerjaan yang didanai membentuk kemampuan pekerja untuk berpindah antara sektor bahan bakar fosil dan energi terbarukan (Philp & O'Neil, 2026).

Skor 91% untuk media pembelajaran energi terbarukan secara real-time menunjukkan bahwa guru menganggap pembelajaran energi terbarukan membutuhkan lebih dari sekadar penjelasan konseptual. Pemantauan real-time dapat membantu siswa memahami bahwa output fotovoltaik berubah dengan kondisi lingkungan, perubahan beban mengubah konsumsi arus dan daya, status baterai memengaruhi stabilitas sistem, dan efisiensi dapat diukur daripada abstrak. Pengalaman belajar seperti itu sejalan dengan bukti dari pendidikan teknik surya, di mana pembelajaran praktis dan berbasis proyek penting untuk persiapan yang lebih mendalam daripada sekadar paparan keterampilan jangka pendek (Pasipamire et al., 2025).

Skor 88% untuk implementasi IoT menegaskan bahwa guru siap mengintegrasikan teknologi digital ke dalam praktik kejuruan. Kesiapan ini penting karena media berbasis teknologi dapat gagal ketika guru menganggap alat tersebut tidak relevan atau terlalu kompleks. Dalam penelitian ini, guru melihat IoT relevan dengan kompetensi teknik elektro modern. Meskipun demikian, data wawancara menunjukkan bahwa kesiapan guru masih membutuhkan dukungan melalui lembar kerja yang jelas, prosedur

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

operasional, dan skenario pembelajaran. Poin ini konsisten dengan penelitian tentang keterampilan listrik tingkat lanjut dalam teknologi cerdas, yang mengidentifikasi kesenjangan dalam jaringan cerdas, IoT, manajemen energi, dan keamanan siber, dan merekomendasikan metode pelatihan adaptif dan kolaborasi antar industri (Karapidakis et al., 2025).

Skor 86% yang terkait dengan keterampilan hijau menunjukkan bahwa guru merasakan adanya kesenjangan antara pembelajaran yang ada dan kompetensi yang berorientasi pada keberlanjutan. Keterampilan hijau dalam konteks ini tidak terbatas pada sikap lingkungan; keterampilan tersebut mencakup kemampuan untuk memantau penggunaan energi, menafsirkan efisiensi, memahami perilaku energi terbarukan, dan membuat keputusan yang mendukung sistem listrik berkelanjutan. Pelatih mikrogrid terbarukan pemantauan cerdas dapat memperkuat keterampilan ini dengan memungkinkan siswa untuk melihat konsekuensi dari pemilihan beban, ketersediaan energi, dan konfigurasi sistem. Interpretasi ini didukung oleh studi yang menekankan kompetensi hijau di sektor teknis dan kebutuhan akan elemen teknologi hijau yang terstruktur dalam lingkungan kejuruan (Cledumas et al., 2020)(Ismail et al., 2023)(Kaliappan et al., 2023).

3.3. Interpretasi Kesenjangan Kompetensi Berdasarkan Temuan Penelitian

Temuan penelitian menunjukkan bahwa kesenjangan pembelajaran tidak hanya berkaitan dengan keterbatasan fasilitas, tetapi juga dengan belum terintegrasinya praktik energi terbarukan, pemantauan berbasis IoT, dan penguatan green skills dalam kegiatan praktikum. Hasil observasi dan wawancara menunjukkan bahwa pembelajaran masih banyak menggunakan pengukuran manual, sementara kebutuhan guru terhadap media pembelajaran energi terbarukan secara real-time mencapai 91% dan implementasi IoT dalam pembelajaran praktik mencapai 88%. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya media yang tidak hanya menyediakan perangkat energi terbarukan, tetapi juga memungkinkan siswa memperoleh pengalaman mengukur, memantau, membaca, dan menganalisis data energi.

Dari sisi green skills, skor kebutuhan sebesar 86% menunjukkan bahwa keterampilan keberlanjutan perlu diintegrasikan ke dalam aktivitas teknis. Dalam konteks penelitian ini, green skills diarahkan pada kemampuan siswa untuk memahami penggunaan energi, memantau parameter listrik, menafsirkan efisiensi, dan mempertimbangkan keputusan teknis yang berkaitan dengan penggunaan energi secara berkelanjutan. Dengan demikian, penguatan green skills tidak ditempatkan sebagai materi tambahan, tetapi diintegrasikan melalui tugas praktik dan analisis data pada media pembelajaran. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menempatkan keterampilan teknis, kognitif, teknologi, dan keterampilan kerja sebagai bagian dari kompetensi hijau pada bidang ketenagalistrikan(Cledumas et al., 2020)(Ismail et al., 2023)

Kebutuhan terhadap smart monitoring renewable microgrid memperoleh skor tertinggi, yaitu 93%. Temuan ini memperkuat bahwa media pembelajaran perlu menghubungkan sistem energi terbarukan dengan kemampuan pemantauan digital. Media yang dikembangkan secara konseptual dapat memanfaatkan sensor listrik dan ESP32 untuk memperoleh data tegangan, arus, daya, dan parameter lain yang relevan, kemudian menampilkannya melalui dashboard secara real-time. Sistem pemantauan semacam ini telah diterapkan pada berbagai sistem fotovoltaik dan mikrogrid berbasis IoT (Brito et al., 2021)(Hosseinzadeh et al., 2021)(Rani et al., 2023)(Sitharthan et al., 2023). Dalam konteks pendidikan, fungsi tersebut perlu diterjemahkan menjadi aktivitas

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

belajar sehingga siswa tidak hanya melihat data, tetapi juga menginterpretasikan perubahan data dan menghubungkannya dengan kondisi sistem.

Dengan demikian, kebutuhan media dalam penelitian ini mengarah pada integrasi tiga komponen utama, yaitu sistem energi terbarukan sebagai objek praktik, IoT sebagai teknologi pemantauan, dan green skills sebagai kompetensi yang dibangun melalui aktivitas pembelajaran. Integrasi tersebut menjadi dasar dalam merancang media pembelajaran smart monitoring renewable microgrid yang dilengkapi aktivitas pengukuran, pemantauan, interpretasi data, analisis efisiensi, dan tugas praktik terpandu.

Tabel 3. Penelitian terdahulu yang relevan.

Topik Pembahasan	Penelitian Sebelumnya	Implikasi dari penelitian ini
Green skills and green competencies	Keterampilan hijau mencakup kompetensi teknis, kognitif, teknologi, interpersonal, dan yang berkaitan dengan pekerjaan. (Cledumas et al., 2020)(Ismail et al., 2023)(Strachan et al., 2022)	Media harus mendukung pengukuran teknis, komunikasi, diagnosis, dan penalaran keberlanjutan.
Renewable energy workforce readiness	Transisi menuju energi terbarukan memerlukan kesiapan pendidikan, peningkatan keterampilan, dan jalur pembelajaran. (Apostolopoulos et al., 2023)(Bilqis et al., 2024)(Lee et al., 2025)(Ramsarup, P Hepplethwaite, 2025)	Pembelajaran SMK harus diselaraskan dengan pekerjaan-pekerjaan baru di bidang energi surya dan energi cerdas.
Curriculum and pedagogy	Integrasi keberlanjutan seringkali terhambat oleh pengalaman praktis yang terbatas, kesenjangan kurikulum, dan kolaborasi industri yang lemah.(Fiandini et al., 2025)(Winberg & Hollis-Turner, 2023)	Pelatih harus diintegrasikan ke dalam pembelajaran praktis yang terstruktur, bukan diperlakukan sebagai perangkat tambahan.
IoT and smart monitoring	IoT dapat mendukung pemantauan fotovoltaik, mikrogrid, dan energi surya secara real-time. (Brito et al., 2021)(Hosseinzadeh et al., 2021)(Rani et al., 2023)(Sitharthan et al., 2023)	Perangkat pelatihan tersebut harus mencakup sensor, ESP32, pemantauan cloud, dan dasbor.
Green TVET implementation	Pendidikan dan pelatihan kejuruan (TVET) hijau dapat diperkuat melalui proyek keberlanjutan praktis dan pendekatan ekonomi sirkular atau pengolahan limbah menjadi energi (Hamid et al., 2024)(Sulistyo et al., 2025)	Keberlanjutan harus dipraktikkan melalui tugas-tugas teknis yang terukur, bukan hanya diajarkan secara konseptual.

Tabel 3 menunjukkan bahwa kebutuhan media dalam penelitian ini memiliki dasar pada tiga aspek utama, yaitu penguatan green skills, integrasi IoT dan smart monitoring,

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

serta pembelajaran praktik yang kontekstual. Literatur tentang IoT menunjukkan bahwa sensor, mikrokontroler, konektivitas, dan dashboard dapat digunakan untuk memperoleh serta memvisualisasikan data energi secara real-time (Brito et al., 2021; Hosseinzadeh et al., 2021). Sementara itu, penelitian tentang green skills menegaskan pentingnya pengembangan kompetensi teknis dan teknologi yang mendukung praktik kerja berkelanjutan (Cledumas et al., 2020; Ismail et al., 2023). Oleh karena itu, hasil penelitian diarahkan pada media yang mengintegrasikan fungsi teknis dan aktivitas pembelajaran, bukan sekadar perangkat demonstrasi.

Berdasarkan temuan tersebut, media yang diusulkan tidak diarahkan sebagai alat demonstrasi energi terbarukan semata, tetapi sebagai media pembelajaran terintegrasi. Siswa perlu memperoleh kesempatan untuk mengoperasikan sistem, mengamati data real-time, membandingkan hasil pengukuran, menginterpretasikan perubahan parameter listrik, dan menganalisis efisiensi energi. Dengan demikian, fungsi IoT tidak hanya sebagai teknologi tambahan, tetapi menjadi bagian dari aktivitas pembelajaran yang mendukung pengembangan green skills.

Interpretasi ini selaras dengan prinsip-prinsip Green TVET. UNESCO dan UNESCO-UNEVOC menekankan bahwa lembaga pendidikan kejuruan harus menanamkan keberlanjutan dan teknologi hijau ke dalam praktik dan pembelajaran kelembagaan (UNESCO, 2022)(UNESCO-UNEVOC, 2021). Organisasi Buruh Internasional (2022) juga mengidentifikasi pentingnya keterampilan untuk masa depan yang lebih hijau. Studi ini mengoperasionalkan prinsip-prinsip tersebut pada tingkat media pembelajaran dengan mengusulkan platform teknis-pedagogis di mana keberlanjutan dapat dipraktikkan sebagai aktivitas rekayasa yang terukur.

3.4. Smart Monitoring Renewable Microgrid Learning Media

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, media pembelajaran yang diusulkan diarahkan pada smart monitoring renewable microgrid berbasis IoT yang menghubungkan sistem energi terbarukan dengan aktivitas pembelajaran praktik. Media dirancang untuk menjawab kebutuhan guru terhadap pemantauan real-time (91%), integrasi IoT dalam pembelajaran praktik (88%), penguatan green skills (86%), dan smart monitoring untuk mendukung kesiapan kerja (93%).

Media terdiri atas modul fotovoltaik sebagai sumber energi, sensor listrik untuk mengukur parameter seperti tegangan, arus, daya, dan suhu, serta ESP32 sebagai mikrokontroler untuk akuisisi dan pengiriman data. Data kemudian ditampilkan melalui dashboard digital sehingga siswa dapat melakukan pengamatan dan analisis secara real-time. Integrasi tersebut memungkinkan kegiatan pembelajaran tidak berhenti pada pengukuran manual, tetapi dilanjutkan dengan interpretasi data dan analisis kondisi sistem.

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781



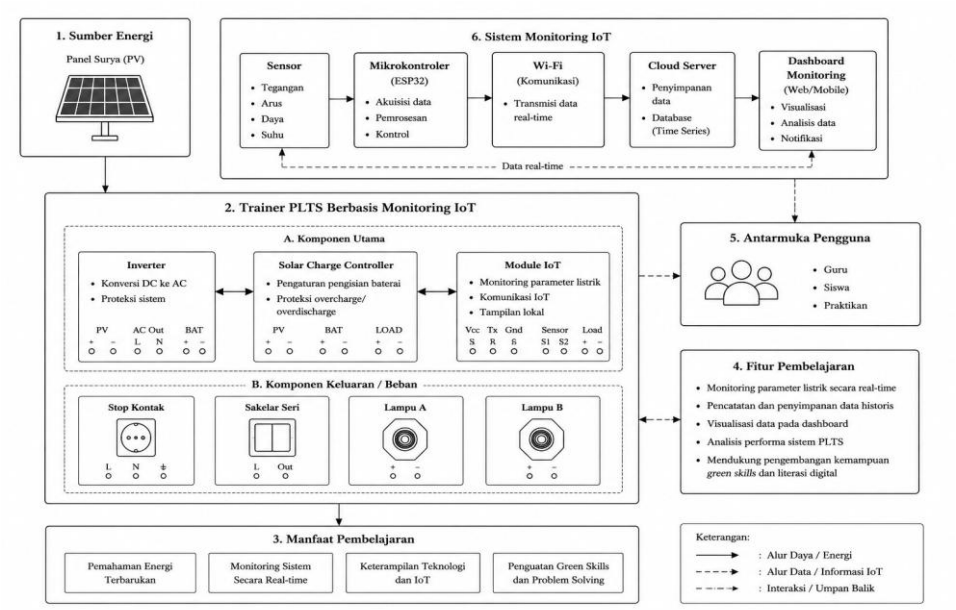
Gambar 3. Konseptual smart monitoring renewable microgrid berbasis IoT.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara alur teknis dan alur pedagogis. Pada alur teknis, energi dari modul fotovoltaik diukur melalui sensor, diproses oleh mikrokontroler, dikirim melalui jaringan, dan ditampilkan pada dashboard. Pada alur pedagogis, data tersebut digunakan sebagai dasar bagi siswa untuk melakukan pengamatan, membandingkan hasil, mengidentifikasi perubahan, dan menarik kesimpulan mengenai kinerja sistem.

Aktivitas pembelajaran dapat diarahkan pada pengamatan perubahan tegangan dan arus, hubungan variasi beban dengan daya, kondisi baterai, serta efisiensi sistem. Siswa juga dapat membandingkan hasil pembacaan dashboard dengan pengukuran menggunakan instrumen konvensional. Aktivitas tersebut mengintegrasikan keterampilan teknis, literasi data, pemecahan masalah, dan green skills dalam satu lingkungan praktik.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, penelitian ini menghasilkan model konseptual pengembangan *smart renewable energy trainer* berbasis IoT untuk mendukung penguatan *green skills* pada pembelajaran praktik SMK. Model tersebut merangkum hubungan antara kebutuhan pembelajaran, proses perancangan media, produk yang dihasilkan, dan outcome pembelajaran yang ditargetkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781



Gambar 4. Model pengembangan smart renewable energy berbasis IoT untuk green skills.

Pada tahap input, kebutuhan guru menjadi dasar penentuan karakteristik media, meliputi kebutuhan media energi terbarukan secara real-time (91%), integrasi IoT (88%), penguatan *green skills* (86%), serta *smart monitoring* untuk mendukung kesiapan kerja (93%). Kebutuhan tersebut kemudian diterjemahkan melalui proses analisis, perancangan, dan integrasi teknologi dengan aktivitas pembelajaran praktik. Output yang dihasilkan diarahkan berupa *smart renewable energy trainer* berbasis IoT yang dilengkapi modul, jobsheet, manual book, dan dashboard monitoring.

Model ini menempatkan IoT bukan hanya sebagai fitur pemantauan, tetapi sebagai bagian dari aktivitas pembelajaran. Data real-time digunakan siswa untuk melakukan pengukuran, interpretasi data, analisis efisiensi, dan pemecahan masalah. Dengan demikian, outcome yang ditargetkan adalah terbentuknya pengalaman praktik yang mengintegrasikan kompetensi teknis, literasi data, dan *green skills*. Efektivitas terhadap outcome tersebut selanjutnya perlu diuji pada tahap pengembangan dan implementasi.

3.5. Implikasi Pedagogis dan Kelembagaan

Temuan penelitian memiliki beberapa implikasi terhadap pengembangan media pembelajaran energi terbarukan berbasis IoT di SMK. Pertama, media pembelajaran perlu mengintegrasikan sistem energi terbarukan dengan teknologi pemantauan real-time. Tingginya kebutuhan guru terhadap media energi terbarukan secara real-time (91%) dan smart monitoring untuk mendukung kesiapan kerja (93%) menunjukkan bahwa media tidak cukup hanya digunakan untuk demonstrasi pembangkitan energi. Media perlu memungkinkan siswa melakukan pengukuran, memantau parameter listrik, dan menginterpretasikan kondisi sistem berdasarkan data yang diperoleh.

Kedua, integrasi IoT perlu diarahkan sebagai bagian dari aktivitas pembelajaran praktik, bukan sekadar fitur tambahan. Kebutuhan terhadap integrasi IoT sebesar 88% menunjukkan perlunya media yang menghubungkan sensor, ESP32, konektivitas, dan dashboard dengan tugas praktik siswa. Melalui sistem tersebut, siswa dapat membandingkan hasil pembacaan digital dengan pengukuran manual, mengidentifikasi perubahan parameter, serta menganalisis kinerja sistem berdasarkan data real-time.

Ketiga, green skills perlu diintegrasikan ke dalam aktivitas teknis pembelajaran. Skor kebutuhan sebesar 86% menunjukkan bahwa keterampilan hijau menjadi salah satu

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

aspek yang perlu diperkuat melalui media pembelajaran. Dalam konteks penelitian ini, green skills dapat dikembangkan melalui aktivitas analisis efisiensi energi, pengelolaan beban, interpretasi kondisi sistem, dan pengambilan keputusan teknis berdasarkan penggunaan energi secara berkelanjutan. Dengan demikian, green skills tidak ditempatkan sebagai materi tambahan, tetapi sebagai bagian dari pengalaman praktik.

Keempat, media perlu dilengkapi dengan aktivitas dan perangkat pembelajaran yang mendukung penilaian kinerja. Trainer perlu didukung jobsheet dan manual book yang memandu siswa dalam melakukan perakitan, pengukuran, konfigurasi sensor dan ESP32, pemantauan dashboard, analisis data, serta penyusunan laporan praktik. Pendekatan tersebut memungkinkan kompetensi teknis, literasi data, pemecahan masalah, dan green skills diamati melalui aktivitas praktik yang terstruktur.

3.6. Keterbatasan dan Arah Pengembangan

Beberapa keterbatasan perlu diakui. Data kuesioner yang tersedia dalam draf ini berupa persentase agregat sehingga analisis terbatas pada statistik deskriptif dan belum memungkinkan analisis tingkat item maupun reliabilitas. Selain itu, penelitian hanya melibatkan tiga SMK di satu provinsi sehingga temuan bersifat kontekstual. Penelitian juga masih berada pada tahap Analisis ADDIE dan belum menguji efektivitas prototipe.

Penelitian selanjutnya perlu melanjutkan hasil analisis kebutuhan ke pengembangan dan validasi prototipe smart monitoring renewable microgrid berbasis IoT. Pengujian dapat mencakup validasi ahli, kepraktisan oleh guru dan siswa, serta efektivitas melalui hasil belajar dan penilaian kinerja. Pengembangan berikutnya juga dapat mengoptimalkan dashboard sebagai sarana interpretasi data, diagnosis kondisi sistem, dan penguatan green skills, serta menyesuaikan implementasi media dengan karakteristik dan kesiapan fasilitas masing-masing sekolah.

4. SIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa pembelajaran praktik energi terbarukan dan IoT di tiga SMK yang diteliti masih menghadapi keterbatasan fasilitas pembelajaran, praktik pemantauan manual, dan belum optimalnya integrasi *green skills*. Hasil observasi, wawancara, dan kuesioner menunjukkan adanya kebutuhan terhadap media pembelajaran yang menghubungkan energi terbarukan, pemantauan real-time, IoT, dan aktivitas praktik yang relevan dengan kebutuhan pembelajaran vokasional.

Analisis kebutuhan terhadap 30 guru menunjukkan tingkat kebutuhan yang sangat tinggi, dengan indeks kebutuhan komposit sebesar 89,5%. Kebutuhan tersebut meliputi media pembelajaran energi terbarukan secara real-time sebesar 91%, integrasi IoT dalam pembelajaran praktik sebesar 88%, penguatan *green skills* sebesar 86%, dan *smart monitoring renewable microgrid* untuk mendukung kesiapan kerja sebesar 93%. Pola tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan media bersifat multidimensional dan mengarah pada integrasi teknologi pemantauan dengan aktivitas pembelajaran praktik.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian menghasilkan model konseptual pengembangan *Smart Renewable Energy Trainer* berbasis IoT yang menghubungkan input kebutuhan pembelajaran, proses perancangan dan integrasi pembelajaran, output berupa trainer dan perangkat pendukung pembelajaran, serta outcome yang ditargetkan berupa penguatan *green skills* dan kompetensi praktik siswa SMK. Media yang diusulkan mengintegrasikan modul fotovoltaik, sensor listrik, ESP32, dashboard monitoring, modul pembelajaran, jobsheet, dan manual book. Integrasi tersebut diarahkan agar data real-time dapat digunakan sebagai dasar pengukuran, interpretasi, analisis efisiensi, dan pemecahan masalah dalam kegiatan praktik.

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781

Secara konseptual, penelitian ini memberikan dasar bagi pengembangan media pembelajaran yang mengintegrasikan energi terbarukan, IoT, dan *green skills* dalam pembelajaran vokasional. Namun, penelitian ini masih berada pada tahap analisis kebutuhan sehingga efektivitas media terhadap kompetensi siswa belum dapat disimpulkan. Penelitian selanjutnya perlu melanjutkan model tersebut melalui pengembangan prototipe, validasi ahli, uji kepraktisan, dan pengujian efektivitas berdasarkan hasil belajar serta kinerja praktik siswa.

5. PERNYATAAN PENULIS

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan terkait penerbitan artikel ini. Penulis menegaskan bahwa naskah artikel bebas dari plagiarisme.

6. REFERENSI

Ahmanda, W., Maulana, A., Murtinugraha, R. E., & Arifah, S. (2022). Implementasi Program SMK Pusat Keunggulan Dilihat dari Konsep 8+i Link and Match. *Jurnal Pendidian Teknik Bangunan*, *2*(2), 59–74.

Apostolopoulos, N., Kakouris, A., Liargovas, P., Borisov, P., Radev, T., Apostolopoulos, S., Daskou, S., & Anastasopoulou, E. (2023). *Just transition policies, power plant workers and green entrepreneurs in Greece, Cyprus and Bulgaria: Can education and retraining meet the challenge? Sustainability*. *15*(23). https://doi.org/10.3390/su152316307

Bilqis, A., Manaloe, S. E., Febriyanti, A., Yuniarni, D. R., Safrina, R., & Yurnaidi, Z. (2024). Empowering ASEAN's education for RE jobs: A readiness assessment. *Earth and Environmental Science*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1395/1/012044

Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6

Brito, D. B., Barboza, De Andrade, E., Araujo, I. B. Q. de A., Torres, I. C., & De Melo, G. C. G. (2021). A Low-Cost IoT System for Real-Time Monitoring of Climatic Variables and Photovoltaic Generation for Smart Grid Application. *Sensors*. https://doi.org/10.3390/s21093293

Cledumas, A. M., Kamin, Y., Haruna, R., Umar, M. I., & Hamza, S. (2020). Exploring essential generic green skills for green jobs in the field of electrical electronics. *Journal of Critical Reviews*, *7*(7), 860–864. https://doi.org/10.31838/jcr.07.07.156

Fiandini, M., Mukhamedov, G. I Khimmataliev, D. O., & Nandiyanto, A. B. D. (2025). Advancing sustainability and green engineering in mechanical engineering education: Concepts, research trends, challenges, and implementation strategies. *ASEAN Journal for Science and Engineering in Materials*, *4*(2), 169 224.

Hamid, N. A., Kamaruzaman, F. M., Rasul, M., SHamid, N. A., Kamaruzaman, F. M., & Rasul, M. S. (2024). Concept of circular economy in technical and vocational education: A systematic literature review. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, *13*(4), 2251–2258. https://doi.org/10.11591/ijere.v13i4.28125

Hosseinzadeh, N., Maashri, A. Al, Tarhuni, N., Elhaffar, A., & Al-hinai, A. (2021). A Real-Time Monitoring Platform for Distributed Energy Resources in a Microgrid — Pilot Study in Oman. *Electronics*. https://doi.org/10.3390/electronics10151803

Ismail, A., Zainal, A., Rohanai, R., Rozali, M. Z., Razali, S. S., & Ghani, S. F. A. A. (2023). Green competency elements for employees of the automotive manufacturing industry. *AIP Conference Proceedings*. https://doi.org/10.1063/5.0181415

Kaliappan, A., Hamid, H., & Madar, A. R. (2023). Experts' opinion matters! Green technology elements for construction technology in vocational colleges. *Journal of*

Technical Education and Training, *15*(1), 167–177. https://doi.org/10.30880/jtet.2023.15.01.015

Karapidakis, E., Markaki, M., Apostolakis, S., Canizes, B., Androulakis, R., & Castro, F. (2025). Advanced electrical skills in smart technologies: Addressing workforce gaps and emerging trends. *EEITE 2025 - 6th International Conference in Electronic Engineering and Information Technology*. https://doi.org/10.1109/EEITE65381.2025.11165951

Lee, H. S., Kuang, K. S., Tee, W. S., & Liew, P. X. (2025). Human capital and renewable energy transition towards carbon reduction: The role of Technical and Vocational Education and Training (TVET). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. https://doi.org/doi.org/10.1088/1755-1315/1516/1/012004

Leong, M. . . (2026). Integration of renewable energy sources in the planning of EV charging infrastructure in Malaysia. *IET Conference Proceedings*, 986–993. https://doi.org/10.1049/icp.2025.3953

Pasipamire, R., Kumba, H., Akpan, J., & Olanrewaju, O. (2025). Comparative overview of solar engineering education in Zimbabwe: Short-term and blended training. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. https://doi.org/10.1109/IEEM63636.2025.11357673

Patonah, S., Budiati, I., & Hayat, M. S. (2025). Practicality of STEAM–SDGs-based IPAS learning for vocational students in the green economy era. *Online Learning in Educational Research*, *5*(2), 369–394. https://doi.org/10.58524/oler.v5i2.884

Philp, B. H., & O'Neil, J. J. (2026). What's next for oil and gas workers? A conservation of resources perspective on upskilling and employment conditions in the United Kingdom's energy transition. *Energy Research and Social Science*. https://doi.org/10.1016/j.erss.2026.104702

Ramdani, S. D., Islami, R. A. Z. El, Pratiwi, H., Fawaid, M., Abizar, H., & Maulani, I. (2021). Developing digital teaching material on basic electricity based on problem-based learning in vocational education. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, *11*(1), 78–91. https://doi.org/10.21831/jpv.v11i1.38894

Ramsarup, P Hepplethwaite, V. (2025). Shaping learning pathways in a transitioning sector: A focus on solar jobs in South Africa. *International Journal of Training and Development*, *29*(4), 479–488. https://doi.org/10.1111/ijtd.12374

Rani, D. D. P., Suresh, D., Rao, P., Akram, C. H. M., Hemalatha, N., & Soni, P. K. (2023). IoT based smart solar energy monitoring systems. *Materials Today: Proceedings*, *80*, 3540–3545. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.293

Sitharthan, R., Vimal, S., Verma, A., Karthikeyan, M., Dhanabalan, S. S., Prabaharan, N., Rajesh, M., & Eswaran, T. (2023). Smart microgrid with the internet of things for adequate energy management and analysis. *Computers and Electrical Engineering*, *106*(December 2022), 108556. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108556

Strachan, S., Greig, A., & Jones, A. (2022). Going green post COVID-19: Employer perspectives on skills needs. *Local Economy*, *37*(6), 481–506. https://doi.org/10.1177/02690942231151638

Sulistyo, A. D. A., Triyono, M. B., Arifin, Z., Purnomo, M. J., Prasetya, T. A., & Harjanto, C. T. (2025). The testing of waste cooking oil as waste recycle to realising green Technical Vocational Education and Training. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, *13*(1). https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d12.0533

Timotheou, S., Miliou, O., Dimitriadis, Y., Sobrino, S. V., Giannoutsou, N., Cachia, R., Monés, A. M., & Loannou, A. (2022). Impacts of digital technologies on education and factors

influencing schools' digital capacity and transformation: A literature review. *Education and Information Technologies*. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11431-8

UNESCO-UNEVOC. (2021). Greening Technical and Vocational Education and Training: A Practical Guide for Institutions. *Bonn: UNESCO-UNEVOC International Centre*. https://unevoc.unesco.org/pub/greening_tvet_practical_guide.pdf

UNESCO. (2022). Technical and Vocational Education and Training for the Green Transition. *UNESCO Publishing*, 1–23. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385260

Weishaupt, T., & Quiceno-Soto, G. (2026). Skills development in sustainable energy transitions: A systematic map and critical review of the drivers and barriers. *Energy Research and Social Science*. https://doi.org/10.1016/j.erss.2026.104576

Widiyanto, N., & Asnawi, R. (2022). IoT Based Renewable Energy Practicum Kit Design to Support learning and research IoT Based Renewable Energy Practicum Kit Design to Support learning and research. *Journal of Physics: Conference Series*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2406/1/012027

Winberg, C., & Hollis-Turner, S. (2023). Renewable energy technologies: How technical curricula could enable a brighter future. *Southern African Journal of Environmental Education*. https://doi.org/10.4314/sajee.v39i.09

DOI: https://doi.org/10.17509/e.v25i3.101430
P-ISSN 0852-1190 E-ISSN 2502-0781