

**PENGEMBANGAN PETA JALAN SARANA TEKNIK PELATIHAN ENERGI TERBARUKAN
UNTUK MENINGKATKAN KOMPETENSI SDM TRANSISI ENERGI
DI PPSDM KEBTKE MENUJU NZE 2060****Zainul M Pulungan¹, Ginanjar Indra Maulana²**^{1,2}Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral**Info Artikel**

Received
20 Januari 2026
Accepted
29 Juni 2026
Published
10 Juli 2026

Kata Kunci:
sarana teknik
pelatihan;
kompetensi
widyaiswara;
transisi energi;
energi terbarukan

Abstrak

Pencapaian target *Net Zero Emission* (NZE) 2060 membutuhkan penguatan kapasitas sumber daya manusia (SDM) sektor energi melalui pelatihan teknis yang relevan dan berbasis praktik. PPSDM KEBTKE sebagai lembaga pelatihan di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menghadapi tantangan berupa keterbatasan sarana teknik pelatihan yang belum sepenuhnya selaras dengan kebutuhan teknologi transisi energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi ketersediaan laboratorium dan sarana teknik pelatihan energi terbarukan, menganalisis tingkat kompetensi widyaiswara, mengkaji hubungan antara ketersediaan laboratorium dan kompetensi widyaiswara, serta menyusun peta jalan pengembangan sarana teknik periode 2026–2030. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan teknik total sampling terhadap 21 widyaiswara PPSDM KEBTKE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata ketersediaan laboratorium berada pada skor 3,85 yang mengindikasikan sebagian besar sarana teknik belum tersedia secara memadai, sedangkan rata-rata kompetensi widyaiswara berada pada skor 2,33. Analisis regresi menunjukkan adanya hubungan yang kuat dan signifikan antara ketersediaan laboratorium dan kompetensi widyaiswara ($R = 0,769$; $R^2 = 0,591$), yang menunjukkan bahwa 59,1% variasi kompetensi dapat dijelaskan oleh kondisi laboratorium. Berdasarkan matriks prioritas, teknologi yang menjadi prioritas pengembangan tahun 2026 meliputi PLT Panas Bumi, Kompor Induksi, Perdagangan Karbon, dan Perhitungan Jejak Karbon, yang kemudian dikembangkan secara bertahap hingga tahun 2030. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan sarana teknik pelatihan dan peningkatan kompetensi widyaiswara perlu dilakukan secara terintegrasi untuk mendukung penguatan SDM transisi energi.

Abstract

Achieving the Net Zero Emission (NZE) 2060 target requires strengthening the capacity of the energy workforce through relevant and practice-oriented technical training. PPSDM KEBTKE, as a training institution under the Ministry of Energy and Mineral Resources, faces challenges related to the limited availability of technical training facilities that are not yet fully aligned with the needs of energy transition technologies. This study aims to identify the availability of renewable energy training laboratories and technical facilities, analyze instructors' competency levels, examine the relationship between laboratory availability and instructors' competencies, and develop a technical facilities roadmap for the period 2026–2030. A quantitative descriptive approach was employed using total sampling involving 21 instructors at PPSDM KEBTKE. The results indicate that the average laboratory availability score was 3.85, suggesting that most technical facilities are either unavailable or insufficient, while the average competency score of instructors was 2.33. Regression analysis revealed a strong and statistically significant relationship between laboratory availability and instructors' competencies ($R = 0.769$; $R^2 = 0.591$), indicating that 59.1% of competency variation can be explained by laboratory conditions. Based on the priority matrix, Geothermal Power Plant training facilities, Induction Stoves, Carbon Trading, and Carbon Footprint Assessment were identified as the highest-priority technologies for development in 2026, followed by the phased development of other technologies through 2030. The study concludes that the development of technical training facilities and instructor competency enhancement should be implemented in an integrated manner to strengthen the energy transition workforce.

Correspondence:

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jalan Poncol Raya No 39
zmpulungan@gmail.com

e-issn : 2548-9437

PENDAHULUAN

Transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan menjadi agenda strategis global dalam menghadapi krisis iklim dan dekarbonisasi sektor energi. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target ambisius untuk mencapai *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 (IEA, 2022). Untuk mewujudkan target tersebut, dibutuhkan akselerasi pengembangan dan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang tidak hanya mengandalkan aspek teknologi dan pembiayaan, tetapi juga penguatan kapasitas Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten dan adaptif terhadap perkembangan teknologi rendah karbon.

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (PPSDM KEBTKE) sebagai lembaga pelatihan teknis di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) memiliki peran krusial dalam menyiapkan SDM sektor energi yang mampu mendorong agenda transisi energi. Namun demikian, tantangan besar yang dihadapi adalah kesenjangan antara fasilitas laboratorium dan sarana teknis pembelajaran yang tersedia dengan kebutuhan aktual pelatihan berbasis teknologi masa depan. Berdasarkan hasil studi awal dan pemetaan kebutuhan pelatihan berbasis NZE, diketahui bahwa tidak semua jenis teknologi transisi energi telah memiliki dukungan simulator atau prototipe fisik di lingkungan PPSDM KEBTKE. Padahal, efektivitas pelatihan teknis sangat bergantung pada ketersediaan alat peraga, laboratorium, dan sistem simulasi yang merepresentasikan kondisi industri nyata. Untuk itu, perlu dilakukan kajian mendalam mengenai jenis laboratorium dan peralatan yang telah tersedia, serta menyusun Peta Jalan pengembangan sarana teknis berdasarkan tingkat urgensi dan potensi dampaknya terhadap kompetensi SDM transisi energi.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat beberapa permasalahan yang perlu mendapat perhatian. Pertama, belum tersedia informasi yang komprehensif mengenai tingkat ketersediaan laboratorium dan sarana teknik pelatihan energi terbarukan di lingkungan PPSDM KEBTKE. Kedua, belum diketahui sejauh mana kompetensi widyaiswara pada berbagai bidang teknologi energi terbarukan dan teknologi pendukung transisi energi telah sesuai dengan kebutuhan pengembangan pelatihan menuju *Net Zero Emission* (NZE) 2060. Ketiga, hubungan antara ketersediaan sarana teknik pelatihan dengan kompetensi widyaiswara belum pernah dianalisis secara kuantitatif sebagai dasar pengambilan keputusan pengembangan kapasitas lembaga. Keempat, belum tersedia peta jalan yang terstruktur dan berbasis data untuk menentukan prioritas pengembangan sarana Teknik pelatihan energi terbarukan sesuai tingkat urgensinya terhadap pencapaian target NZE 2060. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan dasar empiris

dalam penyusunan strategi pengembangan sarana teknik pelatihan yang efektif, terarah, dan selaras dengan kebutuhan transisi energi nasional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi ketersediaan laboratorium dan sarana teknik pelatihan energi terbarukan di PPSDM KEBTKE, menganalisis tingkat kompetensi widyaiswara pada bidang teknologi energi terbarukan dan teknologi pendukung transisi energi, mengkaji hubungan antara ketersediaan laboratorium dengan kompetensi widyaiswara, menganalisis kebutuhan fasilitas pelatihan yang belum tersedia namun diperlukan dalam mendukung pencapaian *Net Zero Emission* (NZE) 2060, serta menyusun prioritas dan peta jalan pengembangan sarana teknik pelatihan energi terbarukan periode 2026-2030. Penelitian ini merupakan studi pertama di lingkungan PPSDM KEBTKE yang mengembangkan model prioritas sarana teknik pelatihan berbasis integrasi antara ketersediaan laboratorium, kompetensi widyaiswara, dan urgensi teknologi transisi energi menuju NZE 2060.

KAJIAN TEORI

Pengembangan sarana teknis dan laboratorium pelatihan di sektor energi terbarukan memiliki landasan konseptual dalam teori pembelajaran *experiential learning* dan pendekatan *competency-based training* (CBT), yang menekankan pentingnya penerapan langsung melalui prototipe dan simulator praktis untuk menghasilkan kompetensi profesi sesuai kebutuhan industri (UNESCO-UNEVOC, 2020). Sebagai bagian dari penguatan kapasitas nasional, *Masterplan Renewable Energy Training Centre Indonesia* (RETC) yang disusun dalam beberapa tahun terakhir menyoroti kebutuhan keberlanjutan pelatihan teknis berbasis praktik, modul simulasi, dan kolaborasi dengan lembaga teknis serta industri untuk menghindari ketimpangan antara pelatihan dan tantangan lapangan (Donker, 2023). Penelitian oleh Thamrin et al., (2025) menganalisis kesiapan SDM energi terbarukan di wilayah perbatasan Kalimantan Barat, menyimpulkan bahwa meski potensi energi besar, kurangnya sarana teknis dan pelatihan vokasional yang memadai menjadi hambatan utama implementasi sehingga perlu penyusunan infrastruktur praktik laboratorium dan pelatihan berbasis kompetensi untuk mempercepat transisi energi. Dari riset berkonteks kebijakan nasional, studi oleh Purba & Irianto (2025) menjelaskan bahwa target transisi energi Indonesia yang tertuang dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) belum memadai jika tidak didukung dengan penguatan teknologi dan SDM, serta peta jalan yang melibatkan sistem pelatihan teknis berbasis skenario nyata dalam sektor energi.

Selanjutnya, literatur internasional seperti Persoon et al. (2022) menyatakan bahwa teknologi energi dengan basis

pengetahuan *analytic cumulativeness* tinggi—seperti PV, *fuel cell*, dan penyimpanan baterai—memerlukan strategi pelatihan dan laboratorium yang spesifik untuk memperluas adopsi teknologi di tingkat lokal. Selain itu, menurut penelitian yang dilakukan oleh Jafarinejad et al., (2021) alat teknik, simulator, dan laboratorium sangat penting untuk pelatihan di sektor energi terbarukan, meningkatkan keterampilan analitis dan teknis siswa yang diperlukan untuk pekerjaan, dan menyelaraskan penawaran pendidikan dengan tuntutan industri untuk tenaga kerja terampil.

Dengan mengombinasikan teori CBT, pendekatan *experiential learning*, serta temuan empiris tentang gap sarana teknis dan kesiapan SDM, penelitian ini menempatkan strategi penyusunan peta jalan laboratorium dan simulator sebagai solusi praktis berbasis bukti untuk mempercepat kompetensi SDM transisi energi menuju pencapaian NZE 2060.

Tabel 1. Perbandingan Penelitian

Penelitian	Fokus Kajian	Temuan Utama
Donker (2023)	Masterplan <i>Renewable Energy Training Centre</i> (RETC)	Menekankan kebutuhan laboratorium dan simulator untuk mendukung pelatihan energi terbarukan
Thamrin et al. (2025)	Kesiapan SDM energi terbarukan di Kalimantan Barat	Menemukan keterbatasan sarana pelatihan sebagai hambatan pengembangan SDM
Chang & Lu (2025)	Kompetensi SDM menuju Net Zero	Menunjukkan pentingnya fasilitas praktik dalam peningkatan kompetensi tenaga kerja
Penelitian ini	Pengembangan peta jalan sarana teknik PPSPDM KEBTKE	Mengintegrasikan ketersediaan laboratorium, kompetensi widyaiswara, urgensi teknologi NZE, dan prioritas investasi sarana teknik 2026–2030

Sumber: Data Penulis (2026)

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan kompetensi SDM transisi energi, kebutuhan pelatihan energi terbarukan, dan pentingnya laboratorium sebagai sarana pembelajaran berbasis praktik. Donker (2023) menekankan pentingnya pengembangan *Renewable Energy Training Centre* (RETC) untuk mendukung pelatihan energi terbarukan yang berkelanjutan. Thamrin et al. (2025) mengidentifikasi

keterbatasan sarana pelatihan sebagai salah satu hambatan utama dalam pengembangan SDM energi terbarukan di Indonesia. Sementara itu, Chang dan Lu (2025) menunjukkan bahwa keterbatasan fasilitas praktik dapat menyebabkan kesenjangan kompetensi tenaga kerja menuju net-zero. Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih membahas aspek kompetensi SDM, kebutuhan pelatihan, atau pengembangan fasilitas laboratorium secara terpisah.

Hingga saat ini masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan ketersediaan sarana teknik pelatihan, tingkat kompetensi widyaiswara, urgensi teknologi terhadap pencapaian target *Net Zero Emission* (NZE) 2060, serta penyusunan peta jalan pengembangan sarana teknik dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Kesenjangan penelitian tersebut menjadi penting untuk diatasi karena keputusan investasi sarana teknik pelatihan memerlukan pendekatan yang tidak hanya mempertimbangkan kebutuhan teknologi, tetapi juga kesiapan sumber daya manusia dan prioritas kebijakan transisi energi nasional.

Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan model prioritas pengembangan sarana teknik pelatihan yang mengintegrasikan kondisi ketersediaan laboratorium, kompetensi widyaiswara, dan tingkat urgensi teknologi terhadap target NZE 2060. Hasil penelitian diwujudkan dalam bentuk peta jalan pengembangan sarana teknik periode 2026–2030 yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan strategis di lingkungan PPSPDM KEBTKE.

Berdasarkan kajian teori, hasil penelitian terdahulu, dan kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, penelitian ini disusun berdasarkan suatu kerangka konseptual yang menghubungkan kondisi ketersediaan laboratorium, kompetensi widyaiswara, dan urgensi teknologi transisi energi. Kerangka ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan matriks prioritas dan peta jalan pengembangan sarana teknik pelatihan energi terbarukan di PPSPDM KEBTKE menuju pencapaian target *Net Zero Emission* (NZE) 2060.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian
Sumber: data penulis (2026)

Kerangka konseptual pada gambar 1 menunjukkan bahwa ketersediaan laboratorium merupakan salah satu faktor yang berkaitan dengan tingkat kompetensi widyaiswara dalam mendukung pelatihan energi terbarukan. Selanjutnya, informasi mengenai kondisi laboratorium, kompetensi widyaiswara, dan tingkat urgensi

teknologi terhadap target NZE 2060 diintegrasikan dalam matriks prioritas untuk menghasilkan peta jalan pengembangan sarana teknik periode 2026–2030. Peta jalan tersebut diharapkan menjadi dasar strategis dalam penguatan kapasitas SDM transisi energi di lingkungan PPSDM KEBTKE.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk memetakan dan menganalisis kebutuhan pengembangan sarana teknik pelatihan energi terbarukan di PPSDM KEBTKE dalam mendukung kompetensi SDM transisi energi menuju *Net Zero Emission* (NZE) 2060.

Populasi penelitian adalah seluruh widyaiswara di lingkungan PPSDM KEBTKE, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, yang berjumlah 25 orang. Karena jumlah populasi relatif kecil dan seluruh anggota populasi memiliki keterkaitan langsung dengan penyelenggaraan pelatihan energi baru terbarukan dan konservasi energi, penelitian ini menggunakan pendekatan total sampling, yaitu seluruh anggota populasi dijadikan target responden.

Dari 25 widyaiswara yang menjadi target penelitian, sebanyak 21 orang berpartisipasi dan mengisi instrumen penelitian secara lengkap, sehingga tingkat respons mencapai 84%. Data yang dianalisis dalam penelitian ini berasal dari 21 responden aktif tersebut. Tingkat respons yang tinggi ini dinilai telah mampu merepresentasikan karakteristik populasi secara memadai sehingga hasil penelitian tetap dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual PPSDM KEBTKE.

Tabel 2. Karakteristik Responden

Karakteristik	Jumlah
Widyaiswara Ahli Pertama	1
Widyaiswara Ahli Muda	10
Widyaiswara Ahli Madya	9
Widyaiswara Ahli Utama	1
Total	21

Sumber: Data Penulis (2026)

Karakteristik responden terdiri atas widyaiswara yang memiliki bidang keahlian pada sektor ketenagalistrikan, energi baru terbarukan, dan konservasi energi, dengan pengalaman mengajar dan melatih yang bervariasi. Seluruh responden terlibat dalam penyelenggaraan pelatihan teknis, pengembangan kurikulum, atau pengembangan kompetensi SDM sektor energi sehingga dinilai memiliki pengetahuan yang relevan untuk memberikan penilaian terhadap kondisi sarana teknik pelatihan dan kebutuhan pengembangannya dalam mendukung target *Net Zero Emission* (NZE) 2060.

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui penilaian berbasis

instrumen skala Likert oleh widyaiswara PPSDM KEBTKE yang menjadi responden penelitian. Data sekunder dikumpulkan dari dokumen internal PPSDM KEBTKE, laporan program, serta referensi kebijakan nasional seperti Rencana Umum Pembangkit Tenaga Listrik (RUPTL) dan dokumen peta jalan transisi energi. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan tiga instrumen utama, yaitu: Skala Likert Ketersediaan Laboratorium, Skala Likert Tingkat Penguasaan Kompetensi Widyaiswara, dan Matriks Prioritas NZE. Skala Likert Ketersediaan Laboratorium, dengan rentang skor 1–5, di mana skor 1 menunjukkan fasilitas laboratorium sudah lengkap dan digunakan secara optimal, dan skor 5 menunjukkan belum tersedia sama sekali serta belum ada rencana pengadaan.

Tabel 3. Skala Likert Ketersediaan Lab

Skor	Kriteria
1	Sudah tersedia lengkap dan digunakan secara optimal
2	Sudah tersedia namun dengan keterbatasan (kapasitas, peralatan usang)
3	Tersedia sebagian (fungsi atau komponennya belum lengkap)
4	Belum tersedia, namun ada rencana pengadaan dalam 2 tahun ke depan
5	Belum tersedia sama sekali dan belum ada rencana pengadaan

Sumber: Data Penulis (2026)

Skala ketersediaan laboratorium pada penelitian ini menggunakan pendekatan *reverse scale*, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kondisi sarana yang semakin tidak tersedia. Skala tersebut dikembangkan oleh penulis dari referensi yang ada. Pendekatan ini digunakan untuk mempermudah identifikasi kesenjangan antara kebutuhan pelatihan dan ketersediaan sarana teknik yang ada. Skala Likert Tingkat Penguasaan Kompetensi Widyaiswara, juga dengan rentang 1–5, di mana skor 5 menunjukkan penguasaan sangat tinggi dan pengalaman praktik, sementara skor 1 berarti belum memiliki pemahaman sama sekali.

Tabel 4. Skala Likert tingkat Penguasaan Kompetensi Widyaiswara

Skor	Kriteria	Interpretasi
5	Sangat Menguasai	Dapat mengajar/melatih dengan baik dan memiliki pengalaman praktik.
4	Menguasai	Memiliki pemahaman yang baik dan pernah mengajarkan/melatih.
3	Cukup Menguasai	Memiliki pemahaman dasar tetapi belum pernah mengajar/melatih.
2	Kurang Menguasai	Memiliki sedikit pemahaman, tetapi perlu banyak peningkatan.

1	Tidak Menguasai	Belum memiliki pemahaman tentang kompetensi ini.
---	-----------------	--

Sumber: Data Penulis (2026)

Tingkat Prioritas dalam *Net Zero Emission* memberikan skor 1–5 berdasarkan urgensi dan signifikansi dukungan terhadap program transisi energi, mulai dari prioritas rendah (skor 1) hingga sangat tinggi (skor 5).

Tabel 5. Tingkat Prioritas dalam Net Zero Emission

Skor	Kriteria	Interpretasi
1	Prioritas rendah	Tidak mendesak dalam 5 tahun ke depan, implementasi masih terbatas
2	Prioritas sedang	Mulai berkembang tetapi belum signifikan dalam transisi energi
3	Prioritas cukup tinggi	Dibutuhkan untuk mendukung kebijakan transisi energi jangka menengah
4	Prioritas tinggi	Sangat diperlukan dalam 5 tahun ke depan, mendukung program transisi energi
5	Prioritas sangat tinggi	Mendukung program utama dalam Peta Jalan dan harus segera dikembangkan

Sumber: Data Penulis (2026)

Selain analisis deskriptif dan matriks prioritas, penelitian ini menggunakan regresi linear sederhana untuk menganalisis hubungan antara ketersediaan laboratorium sebagai variabel independen (X) dan kompetensi widyaiswara sebagai variabel dependen (Y). Analisis ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana kondisi sarana teknik berkaitan dengan kompetensi pengajar dalam mendukung pelatihan energi terbarukan.

Analisis data dilakukan dengan menghitung skor matriks kebutuhan melalui perhitungan rata-rata dari ketiga komponen utama (ketersediaan lab, kompetensi widyaiswara, dan Tingkat Prioritas dalam *Net Zero Emission*). Selanjutnya, data disusun dalam tabel Peta Jalan 2026–2030 berdasarkan rentang skor agregat untuk menetapkan urutan prioritas pengembangan sarana teknik, mulai dari kategori “sangat prioritas (*quick win*)” hingga “non-prioritas.” Interpretasi hasil disajikan dalam bentuk narasi deskriptif dan visualisasi tabel untuk menggambarkan strategi pengembangan laboratorium yang terarah dan berbasis bukti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Indikator Matriks prioritas dalam Peta Jalan

Tahun	Skor	Prioritas
2026	> 50	Sangat prioritas (<i>Quick-win</i>)
2027	35–49,99	Prioritas tinggi
2028	20–34,99	Menengah
2029	10–19,99	Rendah

2030	0–9,99	Non-prioritas
------	--------	---------------

Sumber: Data Penulis (2026)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendukung tercapainya target *Net Zero Emission* (NZE) 2060, PPSDM KEBTKE perlu menyusun perencanaan strategis yang berbasis kebutuhan riil dan berbasis data dalam penyediaan sarana teknik pelatihan. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemetaan dan prioritasasi jenis simulator pembelajaran energi baru dan terbarukan berdasarkan tiga parameter utama: ketersediaan laboratorium saat ini, urgensi terhadap pencapaian NZE 2060, dan tingkat kompetensi widyaiswara saat ini. Analisis ini diharapkan menjadi dasar yang kuat dalam merumuskan peta jalan pengembangan sarana teknik untuk periode 2026–2030 yang bersifat progresif, relevan terhadap perkembangan teknologi global, dan kontekstual dengan kebutuhan nasional. Tabel 7 menyajikan matriks hasil penilaian dan peringkat prioritas sebagai dasar pengambilan keputusan strategis.

Tabel 7. Matriks Kebutuhan Sarana Teknik 2026-2030

Jenis Simulator	Jenis Alat	Bobot ketersediaan lab	Bobot Prioritas NZE 2060	Kompetensi widyaiswara saat ini	Matriks
PLT Surya	real industri	1	5	3,67	18,33
PLT Bayu	prototipe fisik	5	3	2,43	36,43
PLT Air	prototipe fisik	1	4	3,29	13,14
PLT Micro hidro	prototipe fisik	1	4	3,33	13,33
PLT Biogas	prototipe fisik	3	3	2,52	22,71
PLT Biomassa	prototipe fisik	5	4	2,43	48,57
PLT Sampah	prototipe fisik	5	3	2,48	37,14
PLT Panas bumi	prototipe fisik	5	4	2,81	56,19
PLT Arus Laut	prototipe fisik	5	1	1,71	8,57
PLT Gelombang Laut	prototipe fisik	5	1	1,57	7,86
PLT Pasang Surut	prototipe fisik	5	1	1,81	9,05
PLT Nuklir	digital/virtual	5	1	1,52	7,62
PLT Hybrid	prototipe fisik	1	4	2,57	10,29
Audit Energi	real industri	1	5	3,76	18,81
Perencanaan Energi	digital/virtual	2	4	2,24	17,90
Hidrogen	prototipe fisik	4	3	2,05	24,57
BESS	prototipe fisik	4	4	2,14	34,29
Pumped storage	prototipe fisik	5	2	2,24	22,38

Flywheel Energy Storage	prototipe fisik	5	1	1,67	8,33
Thermal Energy Storage (TES)	prototipe fisik	5	1	1,57	7,86
EV & charging station	real industri	3	5	2,19	32,86
Komporsi induksi	real industri	5	5	2,14	53,57
Smart grid	prototipe fisik	4	5	2,19	43,81
CCS/CCUS	digital/virtual	5	4	1,86	37,14
Perdagangan karbon	digital/virtual	5	5	2,14	53,57
Perhitungan jejak karbon	digital/virtual	5	5	2,19	54,76
Mean		3,85	3,35	2,33	

Sumber: Data Penulis (2026)

Hasil analisis dari matriks prioritas menunjukkan bahwa terdapat ketimpangan signifikan antara kebutuhan strategis pengembangan sarana teknis pembelajaran berbasis simulator energi terbarukan dan konservasi energi dengan ketersediaan aktual di laboratorium PPSPDM KEBTKE. Rata-rata bobot ketersediaan laboratorium (3,85) mengindikasikan bahwa mayoritas sarana belum tersedia dan sebagian bahkan belum direncanakan pengadaannya. Padahal, nilai rata-rata bobot prioritas pengembangan NZE (3,35) menunjukkan urgensi cukup tinggi terhadap pengembangan teknologi pendukung target *Net Zero Emission* 2060. Sementara itu, kompetensi Widyaiswara saat ini (mean 2,33) juga masih berada pada tingkat sedang menuju rendah, menandakan perlunya peningkatan kapasitas SDM secara paralel dengan penyediaan sarana. Banyak institusi pelatihan global juga mengalami keteringgalan dalam penyediaan sarana teknik untuk teknologi EBT terkini, menghambat kesiapan SDM dalam mendukung transisi energi (Yew et al., 2024).

Untuk memahami keterkaitan antara kondisi infrastruktur laboratorium dengan kemampuan SDM pengajar (widyaiswara) dalam mendukung pelatihan energi baru dan terbarukan, dilakukan analisis regresi linear sederhana. Variabel independen dalam analisis ini adalah skor ketersediaan laboratorium (X), sedangkan variabel dependennya adalah tingkat kompetensi widyaiswara saat ini (Y).

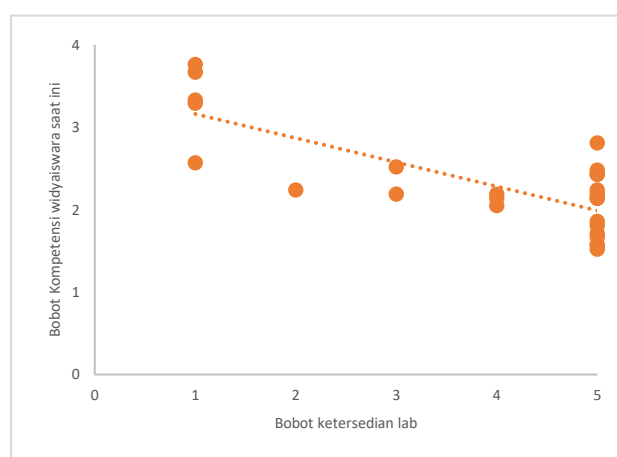
Tabel 8. Ringkasan Statistik Regresi Linear

Statistik	Nilai
Multiple R	0,769
R Square	0,591
Adjusted R Square	0,574
Standard Error	0,403
F Statistic	34,65
Significance F	0,00000451
Koefisien X	-0,293

Intersep (Konstanta)	1,696
----------------------	-------

Sumber: Data Penulis (2026)

Hasil analisis menunjukkan terdapat hubungan yang kuat dan signifikan secara statistik antara ketersediaan laboratorium dan kompetensi widyaiswara. Nilai Multiple R pada output regresi ditampilkan dalam bentuk absolut. Arah hubungan antarvariabel ditunjukkan oleh tanda koefisien regresi (β). Nilai koefisien korelasi (Multiple R) sebesar 0,769 menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel berada pada kategori kuat. Sementara itu, nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,591 mengindikasikan bahwa 59,1% variasi kompetensi widyaiswara dapat dijelaskan oleh variasi kondisi ketersediaan laboratorium, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dianalisis dalam penelitian ini.



Gambar 2. Ketersediaan Lab vs Kompetensi Widyaiswara
Sumber: Data Penulis (2026)

Berdasarkan nilai koefisien regresi, persamaan modelnya: Kompetensi Widyaiswara (Y) = $1,696 - (0,293 \times \text{Skor Ketersediaan Lab } (X))$. koefisien variabel ketersediaan laboratorium bernilai negatif sebesar $-0,293$. Nilai negatif ini menunjukkan bahwa semakin tinggi skor ketersediaan laboratorium, maka kompetensi widyaiswara cenderung menurun. Namun demikian, arah hubungan negatif ini perlu dipahami berdasarkan konstruksi instrumen penelitian yang digunakan. Pada penelitian ini, skor ketersediaan laboratorium disusun secara terbalik, yaitu skor 1 menunjukkan kondisi laboratorium tersedia lengkap dan digunakan secara optimal, sedangkan skor 5 menunjukkan laboratorium belum tersedia dan belum terdapat rencana pengadaan. Dengan demikian, semakin tinggi skor yang diberikan sebenarnya menggambarkan semakin rendah tingkat ketersediaan sarana teknik.

Oleh karena itu, koefisien regresi negatif menunjukkan bahwa keterbatasan sarana laboratorium berkaitan dengan menurunnya tingkat kompetensi widyaiswara, sedangkan semakin baik ketersediaan laboratorium cenderung diikuti

oleh meningkatnya kompetensi widyaiswara. Tingkat kesiapan laboratorium dan kelengkapan alat praktik terbukti berbanding lurus dengan hasil pembelajaran dan kesiapan instruktur dalam pelatihan energi rendah karbon (Chang & Lu, 2025).

Analisis regresi ini memperkuat argumen bahwa pengembangan sarana teknik pelatihan tidak dapat dipisahkan dari strategi peningkatan kompetensi widyaiswara. Upaya penyediaan laboratorium harus dilakukan secara terintegrasi dengan program peningkatan kapasitas widyaiswara agar penyelenggaraan pelatihan NZE menjadi lebih efektif dan berdaya saing. Menurut penelitian yang dilakukan Chang & Lu (2025), Institusi pendidikan dan pelatihan harus beralih dari pendekatan yang bersifat teoritis semata menuju metode berbasis laboratorium dan simulasi, yang mencerminkan lingkungan kerja energi di dunia nyata.

Tabel 9. Justifikasi Prioritas Pengembangan Sarana Teknik

Teknologi	Alasan Prioritas
PLT Panas Bumi	Skor matriks tertinggi, mendukung RUPTL 2025–2034, laboratorium belum tersedia
Smart Grid	Mendukung integrasi PLTS dan PLTB ke sistem kelistrikan serta direkomendasikan dalam roadmap transisi energi
Perdagangan Karbon	Mendukung implementasi pasar karbon nasional dan kebutuhan kompetensi baru
BESS	Teknologi strategis penyimpanan energi namun adopsi nasional masih berkembang
Hidrogen	Potensi jangka panjang namun ekosistem industri masih tahap awal
Kompur Induksi	Mendukung program elektrifikasi nasional dan efisiensi energi sektor rumah tangga
Perhitungan Jejak Karbon	Kompetensi dasar yang dibutuhkan dalam implementasi dekarbonisasi dan ESG

Sumber: Data Penulis (2026)

Tabel 9 menunjukkan bahwa penetapan prioritas pengembangan sarana teknik tidak hanya mempertimbangkan tingkat urgensi teknologi terhadap pencapaian target *Net Zero Emission* (NZE) 2060, tetapi juga memperhatikan kesiapan infrastruktur pelatihan, kebutuhan kompetensi SDM, serta arah kebijakan energi nasional. PLT Panas Bumi, Perdagangan Karbon, Perhitungan Jejak Karbon, dan Kompur Induksi ditempatkan sebagai prioritas utama karena memiliki relevansi tinggi terhadap program transisi energi yang sedang diakselerasi pemerintah, sekaligus masih

menghadapi keterbatasan sarana praktik dan kebutuhan peningkatan kompetensi pengajar.

Sementara itu, *Smart Grid* dan BESS dipandang sebagai teknologi pendukung yang penting untuk meningkatkan fleksibilitas dan keandalan sistem ketenagalistrikan berbasis energi terbarukan. Adapun teknologi Hidrogen diposisikan sebagai prioritas jangka menengah hingga panjang mengingat potensinya yang besar dalam mendukung dekarbonisasi sektor energi, meskipun pengembangan ekosistem industri dan aplikasinya di Indonesia masih berada pada tahap awal. Dengan demikian, prioritas yang disusun dalam penelitian ini mencerminkan keseimbangan antara kebutuhan kompetensi, kesiapan teknologi, dan arah strategis pembangunan energi nasional.

Tabel 10. Peta Jalan Kebutuhan Sarana Teknik 2026-2030

Tahun	Rentang Skor	Prioritas	Jenis Simulator
2026	> 50	Sangat prioritas (Quick-win)	PLT Panas Bumi, kompor induksi, perdagangan karbon, perhitungan karbon
2027	35–49,99	Prioritas tinggi	PLT Biomassa, <i>smart grid</i> , CCS/CCUS, PLT Sampah, PLT Bayu
2028	20–34,99	Menengah	BESS, EV& Charging Station, Hidrogen, PLT Biogas, Pump storage
2029	10–19,99	Rendah	PLT Surya, audit energi, perencanaan energi, PLT Air, PLT Microhidro, PLT Hybrid
2030	0–9,99	Non-prioritas	PLT Arus Laut, PLT Pasang Surut, PLT Gelombang Laut, <i>Thermal Energy Storage</i> , <i>Flywheel Energy Storage</i> , PLT Nuklir

Sumber: Data Penulis (2026)

Tabel 10, Peta jalan kebutuhan sarana Teknik menunjukkan pendekatan berbasis data yang sistematis dalam merancang tahapan pengembangan sarana teknik di lingkungan PPSDM KEBTKE sebagai respon terhadap kebutuhan mendesak menuju *Net Zero Emission* (NZE) 2060. Peta Jalan ini menyusun skala prioritas tahunan berdasarkan skor matriks hasil perhitungan dari tiga parameter utama: bobot ketersediaan laboratorium, urgensi kontribusi terhadap NZE, dan tingkat kompetensi widyaiswara saat ini.

Penetapan prioritas pengembangan sarana teknik dalam penelitian ini tidak hanya didasarkan pada tingkat urgensi teknologi terhadap pencapaian *Net Zero Emission* (NZE) 2060, tetapi juga mempertimbangkan kondisi ketersediaan laboratorium dan tingkat kompetensi widyaiswara saat ini. Oleh karena itu, teknologi yang memperoleh skor matriks tertinggi merupakan teknologi yang memiliki kombinasi kebutuhan strategis yang tinggi, tingkat ketersediaan sarana

yang rendah, serta kompetensi pengajar yang masih perlu diperkuat.

PLT Panas Bumi ditempatkan sebagai prioritas utama pada tahun 2026 karena memiliki skor matriks tertinggi (56,19). Selain memiliki kontribusi signifikan dalam bauran energi nasional sebagaimana tercantum dalam RUPTL 2025–2034, teknologi panas bumi juga memerlukan fasilitas praktik yang spesifik dan saat ini belum tersedia secara memadai di PPSDM KEBTKE. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan pengembangan kompetensi dan dukungan sarana pelatihan yang tersedia.

Demikian pula, simulator Perdagangan Karbon dan Perhitungan Jejak Karbon diprioritaskan pada tahap awal karena menjadi instrumen penting dalam implementasi kebijakan dekarbonisasi nasional. Kebutuhan kompetensi pada bidang ini diperkirakan akan meningkat seiring berkembangnya mekanisme perdagangan karbon dan pelaporan emisi di Indonesia. Sementara itu, *Smart Grid* ditempatkan pada prioritas tinggi karena berperan sebagai teknologi pendukung integrasi energi terbarukan yang bersifat intermiten, seperti PLTS dan PLTB, ke dalam sistem ketenagalistrikan nasional.

Sebaliknya, teknologi seperti BESS, EV dan Charging Station, serta Hidrogen ditempatkan pada tahap menengah karena meskipun memiliki prospek pengembangan yang tinggi, tingkat adopsinya di Indonesia masih berkembang secara bertahap dan memerlukan kesiapan ekosistem pendukung yang lebih luas. Adapun teknologi energi laut, *Flywheel Energy Storage*, *Thermal Energy Storage*, dan PLT Nuklir ditempatkan pada prioritas jangka panjang karena tingkat implementasinya di Indonesia masih terbatas dan belum menjadi fokus utama dalam agenda pengembangan energi nasional periode 2025–2030.

Integrasi antara standar kompetensi nasional dengan kebutuhan industri transisi energi menjadi kunci dalam pengembangan kurikulum pelatihan yang relevan dan bersertifikasi (ETF, 2023). Di sisi lain, keberadaan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) dalam bidang Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang telah ditetapkan oleh Kementerian Ketenagakerjaan menjadi rujukan penting dalam mendesain dan mengimplementasikan Peta Jalan pengembangan sarana teknik ini. SKKNI memuat unit-unit kompetensi spesifik seperti pengoperasian dan pemeliharaan PLTS, PLTMH, PLTB, PLT Biogas, hingga sistem penyimpanan energi dan *smart grid*.

Dengan mengacu pada SKKNI dan KKN level tertentu, simulator yang dikembangkan harus mampu merepresentasikan situasi kerja riil sebagaimana tertuang dalam standar kompetensi tersebut, sehingga dapat mendukung proses sertifikasi profesi tenaga kerja EBT secara nasional melalui LSP sektor energi terbarukan.

Integrasi SKKNI ini memastikan bahwa setiap pengadaan sarana teknik tidak hanya berbasis teknologi dan urgensi transisi energi, tetapi juga *compliant* terhadap sistem regulasi dan pengembangan SDM bersertifikasi nasional.

Tabel 11. Kesesuaian Simulator dengan Kompetensi

Jenis Simulator	Jenis Alat	Nomor SKKNI	Kompetensi yang didukung
PLT Bayu	Proto tipe fisik	SKKNI: Pengoperasian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 138 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Mengoperasikan PLTB
		SKKNI: Pemeriksaan dan Pengujian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 160 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Melaksanakan Pemeriksaan dan Pengujian PLTB
		SKKNI: Pemeliharaan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 161 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Memelihara PLTB
		SKKNI: Pemasangan dan Pembangunan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 166 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Memasang dan membangun PLTB
PLT Surya	Real industri	SKKNI: Pengoperasian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 138 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Mengoperasikan PLTS
		SKKNI: Pemeriksaan dan Pengujian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 160 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Melaksanakan Pemeriksaan dan Pengujian PLTS
		SKKNI: Pemeliharaan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 161 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Memelihara PLTS
		SKKNI: Pemasangan dan Pembangunan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 166 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Memasang dan membangun PLTS
Audit Energi	Real industri	SKKNI: Audit Energi Nomor 53 Tahun 2018 (Kemenaker, 2018)	Melakukan audit energi Melakukan manajemen energi
PLT Micro hidro	Proto tipe fisik	SKKNI: Pengoperasian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 138 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Mengoperasikan PLTMH
		SKKNI: Pemeriksaan dan Pengujian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 160 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Melaksanakan Pemeriksaan dan Pengujian PLTMH

		SKKNI: Pemeliharaan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 161 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Memelihara PLTMH
		SKKNI: Pemasangan dan Pembangunan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Nomor 166 Tahun 2019 (Kemenaker, 2019)	Memasang dan membangun PLTMH

Sumber: Data Penulis (2026)

Berdasarkan Tabel 11 kesesuaian antara jenis simulator dan SKKNI yang relevan, terlihat bahwa pengembangan sarana teknik berbasis simulator untuk PLT Bayu, PLT Surya, dan PLT Mikrohidro memiliki landasan regulatif yang kuat dalam mendukung program pelatihan berbasis kompetensi nasional. Masing-masing simulator telah dikaitkan dengan unit-unit kompetensi pada SKKNI yang mencakup empat tahapan utama penguasaan keahlian: pengoperasian, pemeriksaan dan pengujian, pemeliharaan, serta pemasangan dan pembangunan pembangkit.

Hal ini menegaskan bahwa keberadaan simulator bukan hanya mendukung aspek pedagogis atau teknis semata, tetapi juga menjadi instrumen strategis dalam menyiapkan SDM yang memenuhi standar nasional dan dapat bersaing di pasar tenaga kerja energi terbarukan. Selain itu, tercantumnya SKKNI Audit Energi No. 53 Tahun 2018 sebagai referensi untuk simulator audit energi menunjukkan peran vital laboratorium industri dalam mendukung pelaksanaan manajemen energi yang komprehensif. Dengan demikian, Peta Jalan pengembangan simulator di PPSDM KEBTKE tidak hanya relevan terhadap kebutuhan teknologi masa depan dan urgensi Net Zero Emission, tetapi juga sepenuhnya selaras dengan kerangka regulasi nasional seperti SKKNI dan sistem sertifikasi berbasis Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI), yang menjadi dasar utama dalam pelaksanaan program pelatihan, sertifikasi, dan pengembangan kompetensi teknis tenaga profesional di sektor energi baru dan terbarukan.

Tabel 12. Spesifikasi Teknis dan Aktivitas pada Sarana Teknik

Tahun	Jenis Simulator	Jenis Alat	Spesifikasi Teknis Alat	Aktivitas Praktik
2026	PLT Panas Bumi	Prototipe fisik	Miniatur turbin uap, heat exchanger, simulator reservoir panas bumi	Simulasi konversi panas ke listrik, analisis efisiensi termal,
	Kompor Induksi	Real industri	Kompor induksi efisiensi tinggi, alat ukur konsumsi daya dan suhu	Praktik penggunaan efisien, perbandingan konsumsi energi, edukasi publik
	Perdagangan Karbon	Digital/ virtual	Platform pasar karbon digital, model simulasi offset dan kredit karbon	Simulasi transaksi emisi, latihan penghitungan emisi terverifikasi
	Perhitungan Jejak Karbon	Digital/ virtual	Software LCA (Life Cycle Assessment),	Penghitungan jejak karbon proyek,

			kalkulator emisi berbasis sektor	pelatihan pelaporan emisi
2027	PLT Biomassa	Prototipe fisik	Gasifier skala kecil, sistem pembakaran terkontrol, generator	Konversi biomassa ke energi, monitoring emisi, pengujian efisiensi
	Smart grid	Prototipe fisik	Panel distribusi, sensor beban, sistem monitoring demand-response	Simulasi grid terdistribusi, manajemen beban, pengendalian jarak jauh
	CCS/ CCUS	Digital/ virtual	Simulator penangkapan CO ₂ , model injeksi geologis	Simulasi pemisahan CO ₂ , studi skenario penyimpanan karbon
	PLT Sampah	Prototipe fisik	Incinerator mini, alat olah RDF, scrubber emisi	Konversi sampah ke energi, pengukuran residu, pengelolaan limbah hasil bakar
	PLT Bayu	Prototipe fisik	Turbin angin vertikal/horizontal, sensor angin, inverter	Simulasi kecepatan angin, penghitungan energi, praktik pemasangan
2028	BESS	Prototipe fisik	Baterai litium-ion skala lab, BMS (battery management system)	Pengujian pengisian dan pelepasan daya, manajemen siklus baterai
	EV & Charging Station	Real industri	EV dummy	Sistem dan Komponen kendaraan listrik
	Hidrogen	Prototipe fisik	Alat elektrolisis air, tabung penyimpanan H ₂ , sel bahan bakar mini	Produksi H ₂ , penyimpanan aman, konversi H ₂ ke listrik melalui fuel cell
	PLT Biogas	Prototipe fisik	Digester anaerob, separator gas, generator gas	Produksi biogas dari limbah organik, pembakaran, analisis CH ₄
	Pumped Storage	Prototipe fisik	Dua reservoir mini, pompa, turbin air	Simulasi penyimpanan energi air, studi waktu siklus, analisis losses
2029	PLT Surya	Real industri	Revitalisasi PLTS dan tracker otomatis	Instalasi dan uji panel, monitoring efisiensi, integrasi ke beban rumah tangga
	Audit Energi	Real industri	Power analyzer, clamp meter (upgrade)	Audit bangunan/ industri, identifikasi inefisiensi, rekomendasi penghematan
	Perencanaan Energi	Digital/ virtual	Software LEAP/HOMER/PLEX OS	Simulasi skenario pasokan energi, analisis <i>least-cost pathway</i>
	PLT Air	Prototipe fisik	Aliran air mini, turbin pelton	Simulasi aliran air, konversi mekanik-listrik, evaluasi efisiensi
	PLT Micro hidro	Prototipe fisik	Crossflow/pelton turbine mini, pipa pesat, bak penenang	Desain sistem PLTMH mini, pemeliharaan, penghitungan daya output
2030	PLT Hybrid	Prototipe fisik	Integrasi PV + genset, controller hybrid (upgrade)	Simulasi switching otomatis, manajemen beban, analisis skenario hybridisasi
	PLT Arus Laut	Prototipe fisik	Turbin arus laut mini, sistem pengukur arus, saluran air buatan	Simulasi arus laut, pengujian daya, efisiensi rotor
	PLT Pasang Surut	Prototipe fisik	Kanal pasang surut mini, gerbang air, turbin	Simulasi siklus pasang surut, konversi mekanik ke listrik

	PLT Gelombang Laut	Prototipe fisik	Pelampung osilasi, generator gelombang, saluran uji gelombang	Simulasi frekuensi dan amplitudo gelombang, konversi energi gelombang
	Thermal Energy Storage	Prototipe fisik	Media penyimpan panas (PCM/molten salt), penukar panas	Penyimpanan energi panas, pengujian kehilangan energi, aplikasi pemanasan
	Flywheel Energy Storage	Prototipe fisik	Flywheel mini, sistem bearing, sensor rotasi	Simulasi penyimpanan energi kinetik, perhitungan efisiensi dan waktu discharge
	PLT Nuklir	Digital/virtual	Simulasi interaktif reaktor PWR/BWR, sistem pendingin	Edukasi kendali reaktor, protokol keselamatan, skenario simulasi shutdown otomatis

Sumber: Data Penulis (2026)

Chang dan Lu (2025) menemukan bahwa program pengembangan kompetensi tenaga kerja menuju *net-zero* di Taiwan masih menghadapi keterbatasan fasilitas praktik dan lingkungan pembelajaran berbasis simulasi. Kondisi tersebut menyebabkan kesenjangan antara kompetensi yang dibutuhkan industri energi rendah karbon dengan kompetensi yang dimiliki peserta pelatihan. Temuan ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengembangan SDM transisi energi tidak hanya ditentukan oleh kurikulum dan materi pembelajaran, tetapi juga oleh ketersediaan sarana praktik yang mampu merepresentasikan kondisi kerja nyata. Tantangan serupa juga dihadapi Indonesia, khususnya dalam penyediaan laboratorium dan simulator teknologi energi baru dan terbarukan yang mendukung pencapaian target *Net Zero Emission* (NZE) 2060.

Data Peta Jalan kebutuhan sarana teknik 2026–2030 menunjukkan pendekatan bertahap dan strategis dalam penyediaan alat praktik pembelajaran berbasis simulator untuk mendukung transisi energi nasional. Jenis simulator dibagi menjadi tiga kategori utama, prototipe fisik, real industri, dan digital/virtual, yang masing-masing disesuaikan dengan tingkat kesiapan teknologi dan kebutuhan kompetensi. Tahun-tahun awal (2026–2027) fokus pada teknologi yang memiliki urgensi tinggi terhadap target *Net Zero Emission* seperti PLT Panas Bumi, perdagangan karbon, dan *smart grid*, yang secara umum sudah tersedia secara teknologi dan membutuhkan peningkatan kompetensi SDM.

Sementara itu, tahun-tahun berikutnya (2028–2030) diarahkan pada teknologi energi terbarukan yang lebih inovatif dan eksperimental seperti hidrogen, *thermal energy storage*, *flywheel storage*, dan PLT laut, yang membutuhkan pengembangan sarana teknik yang lebih kompleks dan waktu adopsi lebih panjang. Penyesuaian alat dan spesifikasi teknis yang rinci disertai aktivitas praktik yang aplikatif mencerminkan desain kurikulum pelatihan berbasis kompetensi dan teknologi masa depan

yang adaptif terhadap kebutuhan industri dan kebijakan nasional transisi energi.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, kajian difokuskan pada satu institusi pelatihan, sehingga temuan dan Peta Jalan yang dihasilkan bersifat kontekstual dan perlu diuji pada lembaga pelatihan lain untuk meningkatkan generalisasi. Kedua, penelitian ini belum memasukkan variabel eksternal seperti aspek pendanaan, kebijakan lintas sektor, dan keterlibatan industri yang berpotensi memengaruhi pengembangan sarana teknik pelatihan. Ketiga, penggunaan regresi linear sederhana belum sepenuhnya merepresentasikan dinamika hubungan jangka panjang dalam pengembangan kompetensi SDM transisi energi, sehingga membuka peluang bagi penelitian lanjutan dengan pendekatan metodologis yang lebih kompleks.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan peta jalan sarana teknik pelatihan energi terbarukan di PPSDM KEBTKE merupakan kebutuhan strategis dalam mendukung peningkatan kompetensi SDM transisi energi menuju *Net Zero Emission* (NZE) 2060. Hasil pemetaan menunjukkan masih terdapat kesenjangan antara ketersediaan sarana teknik pelatihan dengan kebutuhan teknologi prioritas transisi energi. Analisis regresi menunjukkan adanya hubungan yang kuat dan signifikan antara ketersediaan laboratorium dan kompetensi widyaiswara, yang mengindikasikan pentingnya dukungan sarana praktik dalam pengembangan kapasitas tenaga pengajar.

Berdasarkan hasil analisis matriks prioritas, penelitian ini berhasil menyusun peta jalan pengembangan sarana teknik periode 2026–2030 yang mencakup teknologi prioritas tinggi hingga teknologi jangka panjang, serta selaras dengan kebutuhan kompetensi dan standar nasional berbasis SKKNI. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan sarana teknik pelatihan dan peningkatan kompetensi widyaiswara perlu dilaksanakan secara terintegrasi untuk memperkuat ekosistem pelatihan energi terbarukan dan mendukung agenda transisi energi nasional secara berkelanjutan.

Saran

Berdasarkan temuan penelitian, disarankan agar PPSDM KEBTKE mengimplementasikan peta jalan pengembangan sarana teknik pelatihan energi terbarukan secara bertahap dan terintegrasi dengan program peningkatan kompetensi widyaiswara, sehingga pengadaan laboratorium, simulator, dan pelatihan pengajar berjalan secara simultan dan saling memperkuat.

Secara praktis, diperlukan penguatan kebijakan internal dalam penganggaran berbasis prioritas NZE, kolaborasi dengan industri dan lembaga internasional untuk penyediaan teknologi pembelajaran mutakhir, serta mekanisme monitoring dan evaluasi berbasis kinerja kompetensi. Dari sisi pengembangan keilmuan, penelitian ini membuka peluang penguatan model perencanaan sarana pelatihan berbasis matriks prioritas sebagai pendekatan sistematis dalam pengembangan SDM transisi energi. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji dampak implementasi Peta Jalan ini terhadap hasil pelatihan, sertifikasi kompetensi, dan kesiapan tenaga kerja energi terbarukan di tingkat nasional maupun regional.

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, J. C., & Lu, H. Q. (2025). Competency and Training Needs for Net-Zero Sustainability Management Personnel. *Sustainability (Switzerland)*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/su17073244>
- Donker, J. (2023). *Masterplan Renewable Energy Training Centre (RETC). December 2022*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25265.66400>
- ETF. (2023). *Greening of Vocational Education and Training: Processes, Practices and Policies*. https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2023-05/GRETA_Greening of VET.pdf
- IEA. (2022). *An Energy Sector Peta Jalan to Net Zero Emissions in Indonesia. International Energy Agency Special Report*. 1–232. www.iea.org/t&c/
- Jafarinejad, S., Beckingham, L. E., Kathe, M., & Henderson, K. (2021). The renewable energy (Re) industry workforce needs: Re simulation and analysis tools teaching as an effective way to enhance undergraduate engineering students' learning. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132111727>
- Kemenaker. (2018). *SKKNI: Audit Energi (Nomor 53 Tahun 2018)*. Jakarta: Kemenaker.
- Kemenaker. (2019). *SKKNI: Pengoperasian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan (Nomor 138 Tahun 2019)*. Jakarta: Kemenaker.
- Kemenaker. (2019). *SKKNI: Pemeriksaan dan Pengujian Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan (Nomor 160 Tahun 2019)*. Jakarta: Kemenaker.
- Kemenaker. (2019). *SKKNI: Pemeliharaan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan (Nomor 161 Tahun 2019)*. Jakarta: Kemenaker.
- Kemenaker. (2019). *SKKNI: Pemasangan dan Pembangunan Pembangkit Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan (Nomor 166 Tahun 2019)*. Jakarta: Kemenaker.
- Persoon, P. G. J., Bekkers, R. N. A., & Alkemade, F. (2022). The knowledge mobility of Renewable Energy Technology. *Energy Policy*, 161, 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112670>
- Purba, E. N. N., & Irianto, C. G. (2025). Regulatory Analysis Of Renewable Energy Use Strategies In Indonesia: A Review. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 9(1), 109–120. <https://doi.org/10.70609/gtech.v9i1.5910>
- Thamrin, S., Supriyadi, I., Laksmono, R., Agung, I., & Capnary, M. C. (2025). Human Resource Problems in the Implementation of Renewable Energy: The Case of The Border Area of West Kalimantan. *Journal of Educational and Social Research*, 15(4), 532–545. <https://doi.org/10.36941/jesr-2025-0156>
- UNESCO-UNEVOC. (2020). Skills development for renewable energy and energy efficient jobs. *UNESCO-UNEVOC International Centre for TVET*, 56.
- Yew, W. K., Ewe, L. S., Goh, H. H., Tuan, D. H., Phan, Q. D., & Dennis Wong, M. L. (2024). Integrating Blended Learning in Global Energy Education: Efficacy Evaluation & Insights from the 3D Energy Project Pilot. *ACM International Conference Proceeding Series*, 167–171. <https://doi.org/10.1145/3675812.3675827>