E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Pengembangan Model Pembelajaran *Project-Based Learning Green Skills* dan *Work Readiness* (PjBL-GW) Berbasis Kit PLTS Portable untuk Siswa SMK

Sumardi[1], Miftahul Fadillah[2], Rienni Manihuruk[3], Aep Saepul Uyun[4]
[1] Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia, sumardieiro@gmail.com
[2] Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia, fadillahmiftahul@gmail.com
[3] Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia, reenni_18@yahoo.com
[4] Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia, aepsuyun@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan pendidikan vokasi untuk menyiapkan lulusan yang menguasai kompetensi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), memiliki *Green Skills*, dan siap memasuki dunia kerja. Pembelajaran PLTS di SMK masih menghadapi keterbatasan media praktik yang terintegrasi, kegiatan proyek yang belum sepenuhnya terstruktur, serta asesmen yang belum secara eksplisit mengukur keterampilan hijau dan kesiapan kerja. Penelitian ini bertujuan mengembangkan Model PjBL-GW berbasis prototype KIT PLTS Portable untuk siswa SMK, khususnya dalam pembelajaran PLTS pada Program Keahlian Energi Terbarukan di SMK Negeri 1 Lingsar. Metode yang digunakan adalah Research and Development dengan model ADDIE yang mencakup tahap analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Produk yang dikembangkan meliputi model PjBL-GW enam fase, buku panduan model, modul ajar, jobsheet, logbook, lembar K3, perangkat asesmen, serta prototype KIT PLTS Portable. Hasil menunjukkan bahwa produk berada pada kategori valid, praktis, terlaksana dengan baik, dan berpotensi meningkatkan kompetensi PLTS, *Green Skills*, serta *Work Readiness*. Kontribusi penelitian ini adalah menyediakan rancangan model pembelajaran vokasi yang mengintegrasikan PjBL, KIT PLTS Portable, keterampilan hijau, dan kesiapan kerja sebagai alternatif pembelajaran energi terbarukan di SMK.

Kata Kunci: *PjBL-GW, KIT PLTS Portable, kompetensi PLTS, Green Skills, Work Readiness, pendidikan vokasi, energi terbarukan.*

Abstract

This study is motivated by the need for vocational education to prepare graduates who possess solar photovoltaic (PV) competence, Green Skills, and work readiness. Solar PV learning in vocational schools still faces limitations in integrated practical media, insufficiently structured project activities, and assessment instruments that do not explicitly measure green skills and work readiness. The study aims to develop a PjBL-GW model based on a Portable Solar PV Kit prototype for vocational high school students, particularly in solar PV learning within the Renewable Energy program at SMK Negeri 1 Lingsar. This research employs a Research and Development method using the ADDIE model, consisting of analysis, design, development, implementation, and evaluation. The developed products include a six-phase PjBL-GW model, a model guidebook, teaching module, jobsheets, project logbook, occupational safety sheets, assessment tools, and a Portable Solar PV Kit prototype. The results indicate that the product is valid, practical, and effectively implemented, with the potential to enhance competence in solar PV systems (PLTS), green skills, and work readiness. This research contributes a vocational learning model design that integrates Project-Based Learning (PjBL), a portable solar PV training kit, green skills, and work readiness as an alternative approach to renewable energy education in vocational high schools.

Keywords: *PjBL-GW, Portable Solar PV Kit, solar PV competence, Green Skills, Work Readiness, vocational education, renewable energy.*

Corresponding Author:
Aep Saepul Uyun

Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia; aepsuyun@gmail.com

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

PENDAHULUAN

Percepatan transisi energi global dan nasional guna mencapai target net zero emissions pada tahun 2060 telah menempatkan energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), sebagai pilar utama pemenuhan kebutuhan listrik (Victoria et al., 2021). Data International Energy Agency (IEA) memproyeksikan lonjakan kapasitas pembangkit listrik terbarukan hingga tahun 2030, dengan tenaga surya fotovoltaik (solar PV) sebagai penggerak utamanya (International Energy Agency, 2023). Di Indonesia, arah ini diperkuat oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2025 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dengan potensi energi surya nasional yang mencapai 3.295 GW, pemerintah terus mempercepat pemanfaatannya dalam bauran energi nasional (ESDM, 2024). Percepatan transisi energi dari fosil ke energi bersih ini, secara logis, berdampak langsung pada sektor industri yang kini semakin masif membuka lapangan kerja baru (Ram et al., 2020). Pesatnya perkembangan industri energi surya meningkatkan kebutuhan tenaga kerja yang tidak hanya memiliki kompetensi teknis, tetapi juga kemampuan adaptif sesuai tuntutan industri modern. Laporan IRENA dan ILO (2023) menunjukkan bahwa sektor tenaga surya merupakan penyerap tenaga kerja terbesar pada industri energi terbarukan. Selain menguasai kompetensi instalasi, pengoperasian, dan pemeliharaan PLTS (Cabral & Lochan Dhar, 2019), tenaga kerja juga dituntut memiliki *green skills* berupa kepedulian terhadap efisiensi sumber daya dan keberlanjutan lingkungan, serta *work readiness* yang mencakup komunikasi, kolaborasi, disiplin, dan kemampuan memecahkan masalah (UNESCO, 2022; OECD, 2023). Integrasi kompetensi teknis dan nonteknis tersebut menjadi faktor penting dalam menghasilkan tenaga kerja yang mampu bekerja secara aman, efisien, dan berkelanjutan (Sern et al., 2018).

Sebagai penyedia utama tenaga kerja terampil, Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki peran strategis dalam menyiapkan lulusan yang sesuai dengan kebutuhan industri energi terbarukan (Sudarsono et al., 2022). Capaian Pembelajaran Teknik Energi Surya mengamanatkan agar peserta didik mampu merancang, memasang, mengoperasikan, dan memelihara sistem PLTS dengan menerapkan prinsip Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (K3LL) (Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah, 2025). Namun demikian, kondisi empiris menunjukkan masih adanya kesenjangan antara kompetensi lulusan dan kebutuhan industri. Badan Pusat Statistik melaporkan bahwa Tingkat Pengangguran Terbuka lulusan SMK pada tahun 2025 masih merupakan yang tertinggi dibandingkan jenjang pendidikan lainnya (Badan Pusat Statistik, 2026). Kondisi ini mengindikasikan bahwa pembelajaran vokasi belum sepenuhnya mampu menghasilkan lulusan yang memiliki kompetensi teknis sekaligus karakter kerja yang dibutuhkan dunia industri (Rahayu et al., 2025).

Hasil observasi awal di Program Keahlian Energi Terbarukan SMK Negeri 1 Lingsar memperkuat temuan tersebut. Pembelajaran PLTS masih didominasi penyampaian teori dan latihan prosedural dengan keterbatasan media praktik yang mampu merepresentasikan kondisi kerja nyata. Selain itu, pembelajaran belum mengintegrasikan pengembangan *green skills* dan *work readiness* secara sistematis sehingga peserta didik kurang memperoleh pengalaman belajar yang autentik dalam menerapkan efisiensi energi, budaya keselamatan kerja, kolaborasi, maupun penyelesaian masalah teknis di lapangan (Irfan et al., 2025; Suroto et al., 2024). Kondisi tersebut berpotensi menghambat kesiapan lulusan ketika menghadapi tuntutan pekerjaan pada industri energi terbarukan yang semakin kompleks (da Costa et al., 2025a). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *Project-Based Learning* (PjBL) efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kolaborasi, dan kompetensi praktik peserta didik melalui proyek autentik (Sudjimat et al., 2021; Ahmad et al., 2023; Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2023; Zhang & Ma, 2023). Penelitian lain mengembangkan kit PLTS sebagai media pembelajaran untuk meningkatkan keterampilan teknis (Potoe et al., 2025),

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

sedangkan kajian mengenai *green skills* dan *work readiness* menegaskan pentingnya kedua kompetensi tersebut dalam pendidikan vokasi abad ke-21 (Peersia et al., 2024; Albertz & Pilz, 2025). Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih dilakukan secara parsial. Hingga saat ini belum ditemukan model pembelajaran yang mengintegrasikan pendekatan PjBL, media Prototype KIT PLTS Portable, *green skills*, dan *work readiness* ke dalam satu sistem pembelajaran yang dirancang khusus untuk pendidikan vokasi energi terbarukan. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar pengembangan penelitian ini.

Sebagai jembatan atas berbagai kesenjangan teoretis maupun praktis tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengembangan Model Pembelajaran PjBL-GW (Project-Based Learning - Green Skills and Work Readiness) berbasis Prototype KIT PLTS Portable bagi peserta didik kelas XI Program Keahlian Energi Terbarukan di SMK. Model inovatif ini dirancang secara terstruktur melalui enam fase operasional: Green Awareness, Project Planning, System Assembly, Testing and Troubleshooting, Green Performance Evaluation, dan Work Readiness Presentation. Melalui sinergi antara kerangka instruksional PjBL-GW dan pemanfaatan media KIT PLTS Portable, penelitian ini diharapkan mampu menyajikan sistem pembelajaran yang valid, praktis, dan efektif guna membekali lulusan SMK dengan keandalan teknis, perilaku kerja hijau, dan kesiapan profesional yang utuh.

KAJIAN TEORI

Pendidikan Vokasi dan Pembelajaran PLTS

Pendidikan vokasi pada dasarnya berorientasi pada pembentukan kemampuan peserta didik untuk melaksanakan pekerjaan secara benar, aman, efisien, dan bertanggung jawab. Orientasi ini menuntut adanya integrasi antara pengetahuan konseptual, keterampilan prosedural, kemampuan pemecahan masalah, sikap profesional, serta pemahaman yang mendalam terhadap konteks dunia kerja sesungguhnya (Abadiyah et al., 2025). Seiring dengan transisi menuju ekonomi hijau dan digital, pendidikan vokasi juga dituntut untuk menyiapkan lulusan yang mampu menyesuaikan kompetensinya dengan perubahan teknologi dan praktik kerja yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pembelajaran vokasi yang efektif harus mampu mendekatkan aktivitas di lingkungan sekolah dengan proses kerja autentik, di mana siswa berlatih merencanakan, melaksanakan, memeriksa, menemukan kesalahan, hingga mendokumentasikan hasil kerjanya (da Costa et al., 2025b).

Dalam konteks Program Keahlian Energi Terbarukan, pembelajaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi wahana utama untuk membangun kompetensi teknis sekaligus kesadaran terhadap penggunaan energi bersih. Capaian Pembelajaran Fase F menuntut peserta didik untuk mampu merencanakan, memasang, mengoperasikan, memelihara, dan memperbaiki sistem PLTS dengan selalu memperhatikan prosedur keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan (K3LL) (Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah, 2025). Pembelajaran sistem PLTS off-grid mengharuskan siswa untuk memahami fungsi dan interaksi antar komponen seperti modul fotovoltaik, solar charge controller (SCC), baterai, inverter, dan alat ukur. Mengingat keterbatasan instalasi PLTS berskala industri di sekolah, pembelajaran ini mutlak membutuhkan kehadiran media praktik fisik berupa KIT PLTS Portable. KIT ini diposisikan sebagai lingkungan kerja mini yang representatif, aman, dan dapat digunakan secara berulang untuk membangun bukti kinerja peserta didik melalui perakitan rangkaian, pengukuran performa, dan diagnosis gangguan (troubleshooting) (Sitorus et al., 2025a).

Project-Based Learning, Green Skills, dan Work Readiness

Project-Based Learning (PjBL) merupakan pendekatan instruksional yang mengorganisasi proses belajar melalui penyelesaian proyek yang bermakna untuk menjawab masalah atau menghasilkan suatu produk (Zhang & Ma, 2023a). Dalam kerangka pendidikan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

vokasi, PjBL sangat relevan karena pengetahuan dipelajari melalui serangkaian tugas yang menyerupai praktik profesional di industri, di mana peserta didik melakukan penyelidikan, mengelola sumber daya, bekerja dalam tim, dan mempertanggungjawabkan hasilnya (Rehman et al., 2024). Efektivitas PjBL bergantung pada kualitas struktur pembelajarannya, yang harus memiliki tujuan kompetensi yang jelas, tahapan kerja yang terukur, serta asesmen proses dan produk yang terpadu.

Meskipun Project-Based Learning telah terbukti efektif meningkatkan keterampilan teknis dan kemampuan pemecahan masalah, implementasinya pada pendidikan vokasi umumnya masih berorientasi pada penyelesaian produk atau proyek. Pendekatan tersebut belum secara eksplisit mengintegrasikan kompetensi keberlanjutan (Green Skills) dan kesiapan kerja (Work Readiness) sebagai capaian pembelajaran yang dirancang sejak tahap awal hingga evaluasi proyek. Akibatnya, keberhasilan proyek sering kali hanya diukur berdasarkan kualitas produk, sedangkan perilaku kerja berkelanjutan, efisiensi penggunaan sumber daya, kepatuhan terhadap standar K3LL, serta kemampuan profesional peserta didik belum menjadi bagian integral dari proses pembelajaran. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar pengembangan model PjBL-GW. Green Skills didefinisikan sebagai seperangkat pengetahuan, keterampilan, nilai, dan sikap yang memampukan seseorang untuk menggunakan sumber daya secara efisien, menekan dampak negatif terhadap lingkungan, dan berkontribusi pada proses kerja yang berkelanjutan (da Costa et al., 2025c). Dalam penelitian ini, Green Skills dioperasionalkan ke dalam lima dimensi utama: kesadaran energi dan lingkungan; efisiensi penggunaan energi dan bahan; penerapan keselamatan dan tanggung jawab lingkungan; pemecahan masalah serta inovasi hijau; dan perilaku kolaboratif yang mendukung keberlanjutan. Keterampilan ini dibangun dengan mengarahkan pembelajar dari tahap kesadaran teoretis menuju tindakan praktis yang nyata selama melaksanakan proyek PLTS.

Work Readiness (Kesiapan Kerja) adalah kesiapan multidimensional untuk memasuki dan menjalankan peran profesional secara efektif, yang cakupannya jauh lebih luas dibandingkan sekadar kepemilikan keterampilan teknis (Affandi et al., 2025). Konsep ini mencakup karakteristik personal, pemahaman standar organisasi, kemampuan adaptasi, komunikasi, dan perilaku penyelesaian masalah. Dalam konteks proyek PLTS, Work Readiness dioperasionalkan ke dalam lima dimensi: kesiapan personal; komunikasi dan kolaborasi; perencanaan dan pengelolaan pekerjaan; pemecahan masalah dan adaptabilitas; serta kesadaran terhadap standar, keselamatan, mutu, dan budaya kerja. PjBL memfasilitasi berkembangnya Green Skills dan Work Readiness secara bersamaan karena peserta didik diwajibkan untuk mengelola pekerjaan, menerapkan standar teknis dan keselamatan, serta mempertanggungjawabkan efisiensi hasil proyeknya secara profesional (Inderanata & Sukardi, 2023).

Green Skills dan Work Readiness memiliki hubungan yang saling melengkapi dalam pembelajaran vokasi. Green Skills berorientasi pada bagaimana pekerjaan dilakukan secara berkelanjutan melalui efisiensi energi, kepedulian lingkungan, serta tanggung jawab terhadap sumber daya. Sebaliknya, Work Readiness menekankan kesiapan individu untuk melaksanakan pekerjaan sesuai standar industri melalui kemampuan komunikasi, kolaborasi, disiplin kerja, adaptasi, dan penyelesaian masalah. Oleh karena itu, kompetensi teknis PLTS tidak cukup dikembangkan secara terpisah, tetapi perlu dipadukan dengan perilaku kerja berkelanjutan dan kompetensi profesional agar lulusan mampu memenuhi tuntutan industri energi terbarukan.

Pengembangan Model PjBL-GW Berbasis KIT PLTS Portable

Model PjBL-GW dikembangkan sebagai suatu inovasi adaptif dari model PjBL konvensional, yang secara eksplisit menautkan kompetensi teknis PLTS dengan Green Skills

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

dan Work Readiness di dalam satu alur pembelajaran (Gambo et al., 2021). Pengembangan model ini didasarkan pada lima prinsip utama: (1) proyek harus terkait dengan kompetensi PLTS yang terukur, (2) setiap fase wajib menghasilkan bukti proses atau produk, (3) keputusan teknis harus selalu mempertimbangkan efisiensi dan dampak lingkungan, (4) pembagian peran meniru praktik kerja profesional, dan (5) proses refleksi digunakan untuk mempertanggungjawabkan hasil proyek (Ngamkajornwiwat et al., 2020). Dalam operasionalnya, KIT PLTS Portable berperan sebagai sistem pendukung utama yang menyediakan objek kerja fisik, sehingga aktivitas pembelajaran tidak berhenti pada tataran simulasi atau diskusi semata. Berdasarkan sintesis teori PjBL, Green Skills, dan Work Readiness, setiap fase dalam model PjBL-GW dirancang untuk merepresentasikan perkembangan kompetensi peserta didik secara bertahap. Fase Green Awareness membangun kesadaran terhadap efisiensi energi, keselamatan, dan keberlanjutan sebelum pekerjaan dimulai. Project Planning mengembangkan kemampuan perencanaan pekerjaan, pembagian tugas, serta pengambilan keputusan teknis yang mempertimbangkan aspek lingkungan. System Assembly menjadi tahap implementasi kompetensi teknis melalui perakitan sistem PLTS sesuai prosedur kerja dan standar K3LL. Testing and Troubleshooting menekankan kemampuan diagnosis, evaluasi kinerja sistem, dan pemecahan masalah yang merupakan kompetensi penting dalam praktik industri. Selanjutnya, Green Performance Evaluation mengarahkan peserta didik untuk mengevaluasi efisiensi energi, penggunaan material, serta dampak lingkungan dari hasil proyek. Tahap terakhir, Work Readiness Presentation, dirancang untuk mengembangkan komunikasi profesional, kemampuan mempertanggungjawabkan hasil kerja, refleksi terhadap proses proyek, serta kesiapan memasuki dunia kerja. Dengan demikian, setiap fase tidak hanya mengembangkan keterampilan teknis, tetapi juga secara sistematis mengintegrasikan Green Skills dan Work Readiness dalam satu alur pembelajaran.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang mencakup tahapan Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama penelitian tidak sekadar mendeskripsikan fenomena pembelajaran di kelas, melainkan untuk menghasilkan, menguji, dan mengevaluasi sebuah produk instruksional berupa Model PjBL-GW berbasis Prototype KIT PLTS Portable. Selaras dengan hal tersebut, desain penelitian difokuskan pada pengujian kelayakan produk melalui validasi ahli serta penilaian efektivitas produk secara deskriptif, tanpa menggunakan analisis eksperimen statistik yang rumit (IEA, 2025).

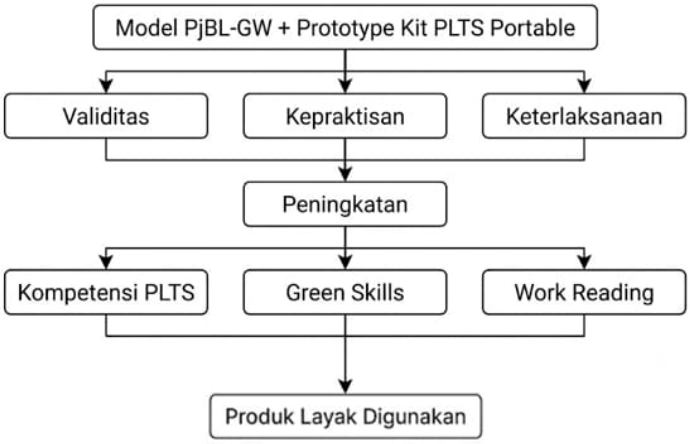
Prosedur pengembangan dalam penelitian ini dilaksanakan secara sistematis mengikuti kelima tahapan ADDIE. Tahap Analysis dilakukan di awal untuk memetakan problematika pembelajaran PLTS dan merumuskan kebutuhan kompetensi industri (Sudarsono et al., 2024). Selanjutnya, tahap Design difokuskan pada perancangan sintaks model pembelajaran enam fase, penyusunan rancangan trainer KIT, dan pembuatan draf instrumen asesmen. Pada tahap Development, produk awal mulai dirakit dan divalidasi oleh para ahli untuk mendapatkan masukan serta revisi. Produk yang telah divalidasi oleh 4 ahli diantaranya: ahli model pembelajaran, ahli materi, ahli media, dan praktisi pembelajaran vokasi kemudian diujicobakan pada tahap Implementation di dalam kelas, dan diakhiri dengan tahap Evaluation untuk mengukur persentase validitas, kepraktisan, keterlaksanaan, serta efektivitas produk secara komprehensif. Pelaksanaan implementasi penelitian direncanakan berlangsung pada semester genap, yakni antara bulan Januari hingga Juni 2026, bertempat di SMK Negeri 1 Lingsar khusus pada Program Keahlian Energi Terbarukan. Subjek penelitian ditentukan menggunakan teknik purposive sampling, yang melibatkan 36 peserta didik kelas XI, satu orang guru produktif, dua orang observer, serta

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

sejumlah validator ahli yang gayut dengan bidang pengembangan produk. Instrumen penelitian meliputi bentuk tes, angket rubik, lembar observasi, logbook proyek dan pedoman wawancara singkat. Tes kompetensi PLTS disusun berdasarkan indikator capaian pembelajaran materi sistem PLTS off-grid yang meliputi konsep dasar fotovoltaik, fungsi komponen, perancangan sistem, instalasi, pengoperasian, pengukuran performa, dan *troubleshooting*. Tes diberikan dua kali, yaitu sebelum pembelajaran (pretest) untuk mengukur kemampuan awal dan setelah seluruh tahapan pembelajaran selesai (posttest) untuk mengukur peningkatan hasil belajar.Adapun batasan objek pada penelitian ini difokuskan pada penerapan Model PjBL-GW beserta operasionalisasi purwarupa KIT PLTS Portable untuk sistem off-grid berskala laboratorium.

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan satu kesatuan paket pembelajaran yang utuh dan komprehensif. Produk tersebut meliputi sintaks Model PjBL-GW, Prototype KIT PLTS Portable, buku panduan model, modul ajar, jobsheet, logbook proyek peserta didik, lembar K3, dan perangkat asesmen pendukung. Untuk menjustifikasi kualitas produk dan luaran pembelajaran, instrumen yang dikerahkan mencakup lembar validasi ahli, tes tertulis kompetensi PLTS (pretest dan posttest), rubrik observasi unjuk kerja, skala pengukuran Green Skills dan Work Readiness, angket kepraktisan bagi guru dan siswa, serta lembar observasi untuk mengukur keterlaksanaan setiap fase model. Seluruh data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan teknik deskriptif kuantitatif dan kualitatif yang terukur. Penilaian terhadap validitas, kepraktisan, dan keterlaksanaan pembelajaran dikalkulasi menggunakan persentase, sementara capaian kompetensi teknis peserta didik dianalisis melalui rata-rata, persentase ketuntasan klasikal, dan uji peningkatan menggunakan rumus N-Gain sederhana. Nilai N-Gain kemudian diinterpretasikan ke dalam tiga kategori, yaitu tinggi ($g \geq 0{,}70$), sedang ($0{,}30 \leq g < 0{,}70$), dan rendah ($g < 0{,}30$). Produk dinyatakan layak apabila memenuhi kriteria valid, praktis, dan terlaksana dengan kategori minimal baik, mencapai ketuntasan klasikal minimal 85%, memperoleh peningkatan hasil belajar minimal kategori sedang, serta menunjukkan capaian Green Skills dan Work Readiness pada kategori baik.

Secara keseluruhan, alur pengujian dan penentuan indikator keberhasilan dari produk pengembangan ini dirangkum dalam sebuah diagram alir (*flowchart*). Diagram tersebut memvisualisasikan alur evaluasi terpadu dari Model PjBL-GW dan *Prototype* KIT PLTS Portable, mulai dari tahap pengujian kelayakan (validitas, kepraktisan, dan keterlaksanaan), hingga pengukuran efektivitasnya terhadap peningkatan kompetensi PLTS, *Green Skills*, dan *Work Readiness* peserta didik. Bermuara dari seluruh tahapan evaluasi tersebut, produk akhir kemudian dapat disimpulkan kelayakannya untuk digunakan dalam pembelajaran vokasi.



Gambar 1. Alur Pengembangan dan Pengujian Produk

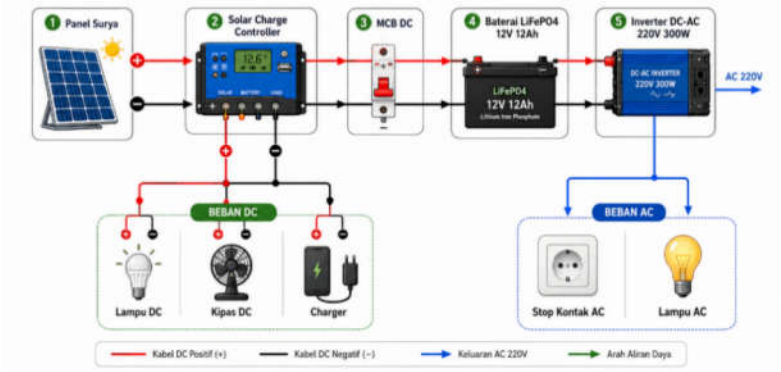
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengembangan Produk (Model ADDIE)

Hasil penelitian dan pengembangan ini diuraikan berdasarkan lima tahapan utama dari model ADDIE. Pada tahap *Analysis* (Analisis), ditemukan adanya kebutuhan mendesak akan media praktik terpadu dan model yang mampu menumbuhkan karakter hijau serta kesiapan kerja siswa di SMK Negeri 1 Lingsar. Pada tahap *Design* (Perancangan), peneliti merumuskan sintaks PjBL-GW ke dalam enam fase utama: (1) *Green Awareness*, (2) *Project Planning*, (3) *System Assembly*, (4) *Testing and Troubleshooting*, (5) *Green Performance Evaluation*, dan (6) *Work Readiness Presentation*. Selain itu, dirancang pula *blueprint* KIT PLTS Portable beserta modul pendukungnya.

Gambar 1 menyajikan diagram rancangan sirkuit (wiring diagram) yang menjadi acuan teknis dalam pengembangan alat, sementara Gambar 2 memperlihatkan wujud fisik purwarupa (prototype) KIT PLTS Portable yang telah direalisasikan.



Gambar 1. Diagram Rancangan Sirkuit (*Wiring Diagram*) KIT PLTS Portable



Gambar 2. Purwarupa (*Prototype*) KIT PLTS Portable dan Spesifikasi Komponen

Selanjutnya pada tahap *Development* (Pengembangan), seluruh rancangan fisik direalisasikan menjadi Prototype KIT PLTS Portable utuh yang dilengkapi dengan panel surya, inverter, solar charge controller, baterai, dan panel kontrol. Pada tahap ini pula dilakukan validasi ahli. Tahap *Implementation* (Implementasi) dilaksanakan dengan menerapkan model dan media yang telah dikembangkan kepada 36 peserta didik kelas XI.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Tahap akhir, yaitu *Evaluation* (Evaluasi), difokuskan pada analisis data terkait kelayakan, kepraktisan, serta efektivitas model terhadap variabel yang diukur.

Hasil Validasi Kelayakan Produk

Sebelum diimplementasikan di lapangan, draf awal produk diuji kelayakannya oleh para ahli yang berkompeten di bidang materi PLTS, desain instruksional, media, serta evaluasi. Penilaian dilakukan menggunakan instrumen kuesioner dengan skala Likert. kategori kelayakan ditentukan berdasarkan persentase skor yang diperoleh, yaitu 81–100% (Sangat Valid), 61–80% (Valid), 41–60% (Cukup Valid), 21–40% (Kurang Valid), dan ≤20% (Tidak Valid). Rekapitulasi hasil validasi ahli secara komprehensif disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Penilaian Validasi Ahli terhadap Produk Pengembangan

Aspek Penilaian Validasi	Persentase (%)	Kategori Kelayakan
Ahli Materi dan Konten PLTS	86,7%	Sangat Valid
Ahli Desain Model Pembelajaran (PjBL-GW)	89,3%	Sangat Valid
Ahli Media (KIT PLTS Portable)	88,0%	Sangat Valid
Ahli Instrumen Evaluasi dan Asesmen	85,3%	Sangat Valid
Rata-rata Keseluruhan	87,3%	Sangat Valid

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa seluruh komponen produk yang dikembangkan baik model pembelajarannya maupun KIT media praktiknya berada pada kategori "Sangat Valid" dengan perolehan rata-rata sebesar 87,3%. Hasil ini menegaskan bahwa dari sudut pandang teoretis dan konstruksi keilmuan, Model PjBL-GW sangat layak dan aman untuk diimplementasikan dalam uji coba lapangan di sekolah.

Hasil Kepraktisan dan Keterlaksanaan Pembelajaran

Kepraktisan model dan media diukur melalui angket respon yang diisi oleh guru produktif dan peserta didik setelah keseluruhan siklus pembelajaran selesai dilaksanakan. Sementara itu, keterlaksanaan model (sintaks PjBL-GW) diobservasi secara langsung oleh dua orang pengamat (observer) di dalam kelas. Rangkuman hasil kepraktisan dan keterlaksanaan disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kepraktisan Model dan Media

Responden	Persentase Kepraktisan	Kategori
Guru Mata Pelajaran (Produktif)	91,0%	Sangat Praktis
Peserta Didik (n=36)	86,4%	Sangat Praktis
Rata-rata Gabungan	88,7%	Sangat Praktis

Data pada Tabel 2 membuktikan bahwa KIT PLTS Portable dan buku panduan model sangat membantu dan mempermudah tugas guru (91,0%) dalam mengelola pembelajaran berbasis bengkel. Peserta didik (86,4%) juga merasakan antarmuka KIT yang intuitif, portabel, serta jobsheet yang terstruktur memberikan kemudahan dalam mengikuti instruksi perakitan. Hasil kepraktisan menunjukkan bahwa produk dapat diterapkan dengan baik dalam pembelajaran. Akan tetapi, tingginya nilai kepraktisan tidak dapat diartikan sebagai bukti efektivitas pembelajaran. Kepraktisan hanya menunjukkan bahwa produk mudah

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

digunakan, dipahami, dan diterima oleh pengguna, sedangkan efektivitas produk tetap harus dibuktikan melalui peningkatan hasil belajar dan ketercapaian tujuan pembelajaran.

Tabel 3. Hasil Observasi Keterlaksanaan Sintaks PjBL-GW

Fase Sintaks PjBL-GW	Persentase Terlaksana	Kategori
Fase 1: *Green Awareness*	86,5%	Sangat Terlaksana
Fase 2: *Project Planning*	87,0%	Sangat Terlaksana
Fase 3: *System Assembly*	88,5%	Sangat Terlaksana
Fase 4: *Testing and Troubleshooting*	85,5%	Sangat Terlaksana
Fase 5: *Green Performance Evaluation*	84,7%	Sangat Terlaksana
Fase 6: *Work Readiness Presentation*	90,3%	Sangat Terlaksana
Rata-rata Keterlaksanaan	87,1%	Sangat Terlaksana

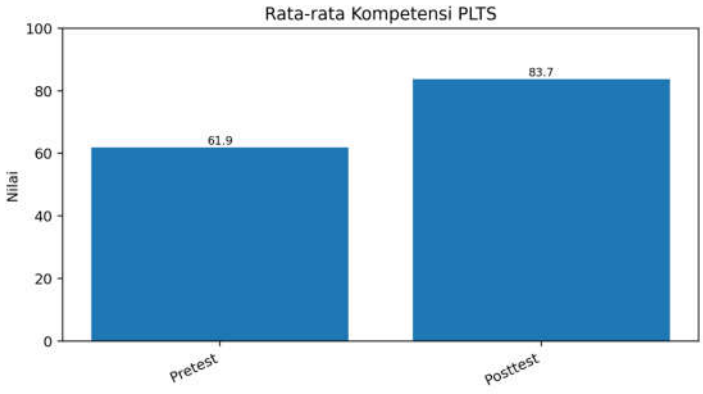
Tabel 3 memperlihatkan bahwa struktur instruksional berjalan sesuai desain awal dengan tingkat keterlaksanaan yang tinggi. Nilai tertinggi berada pada Fase 6 (90,3%), hal ini dikarenakan tingginya antusiasme kelompok dalam mempresentasikan dan mendemonstrasikan sistem PLTS yang telah berhasil mereka rakit di hadapan penilai yang disimulasikan menyerupai situasi lapor kerja industri.

Hasil Peningkatan Kompetensi PLTS

Efektivitas utama dari model ini diukur berdasarkan peningkatan kemampuan teknis dan kognitif siswa dalam materi PLTS. Pengujian dilakukan melalui tes awal (pretest) dan tes akhir (posttest), lalu dianalisis menggunakan rumus N-Gain untuk mengetahui tingkat peningkatannya. Hasil perhitungan dijabarkan pada Tabel 4, dan tren perbandingan lonjakan nilai rata-rata kelas dapat dilihat secara lebih visual pada Grafik 1.

Tabel 4. Peningkatan Kompetensi PLTS (Pretest vs Posttest)

Indikator Penilaian	Pretest	Posttest	Keterangan
Nilai Rata-rata Kelas	61,9	83,7	Meningkat 21,8 poin
Persentase Ketuntasan Klasikal	16,7%	91,7%	Lonjakan ketuntasan sangat tinggi
Skor N-Gain	-	0,60	Kategori Peningkatan Sedang



Grafik 1. Peningkatan Rata-rata Nilai Pretest dan Posttest Kompetensi PLTS

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Melalui penerapan KIT PLTS Portable, pemahaman teoretis siswa tervisualisasi dengan nyata yang dibuktikan oleh data pada tabel dan grafik di atas. Peningkatan ketuntasan klasikal dari yang mulanya sangat rendah (16,7%) melesat tajam menjadi 91,7%. Angka N-Gain sebesar 0,60 menunjukkan bahwa dampak dari intervensi PjBL-GW memberikan pengaruh yang solid (kategori sedang) terhadap daya serap kognitif serta keandalan psikomotorik siswa dalam merakit instalasi PLTS.

Hasil Pembentukan Karakter Green Skills

Salah satu diferensiasi penelitian ini adalah integrasi variabel keterampilan hijau (Green Skills) dalam kegiatan praktik kebengkelan. Aspek ini dinilai dari instrumen observasi kinerja saat siswa berada di fase perakitan dan evaluasi green performance. Rekapitulasi indikatornya terdapat pada Tabel 5, sementara profil visual persentase capaian dari tiap indikator disajikan pada Grafik 2.

Tabel 5. Hasil Observasi Capaian Karakter Green Skills Siswa

Indikator Green Skills	Persentase Capaian	Kategori
Penerapan Prosedur K3 dan Keselamatan Lingkungan	88,1%	Sangat Baik
Efisiensi Penggunaan Alat, Bahan, dan Energi	85,8%	Sangat Baik
Pemecahan Masalah dan Inovasi Hijau	82,6%	Sangat Baik
Rata-rata Capaian *Green Skills*	85,5%	Sangat Baik



Grafik 2. Persentase Capaian Indikator Green Skills Siswa

Merujuk pada data visual dan tabel tersebut, terlihat bahwa penerapan K3 dan keselamatan lingkungan mendapat persentase tertinggi (88,1%). Hal ini sejalan dengan penggunaan instruksi lembar K3 yang ketat dalam model PjBL-GW, sehingga siswa menjadi lebih awas terhadap bahaya limbah, kebersihan area bengkel, serta mitigasi risiko saat menangani komponen listrik berarus searah (DC).

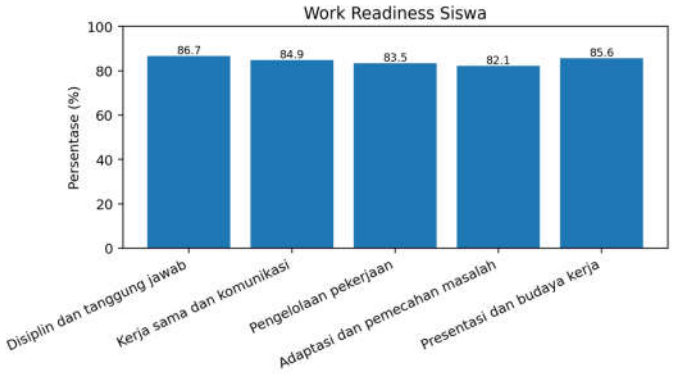
Hasil Penilaian Work Readiness (Kesiapan Kerja)

Dimensi kesiapan kerja dianalisis untuk melihat seberapa jauh kegiatan kelompok berbasis proyek mampu mereplikasi standar budaya industri yang dituntut dari seorang teknisi PLTS. Data hasil observasi dan lembar penilaian teman sejawat disajikan pada Tabel 6, serta dipertegas oleh visualisasi tren capaian indikator pada Grafik 3.

Tabel 6. Hasil Observasi Capaian Kesiapan Kerja (Work Readiness)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Indikator Work Readiness	Persentase Capaian	Kategori
Kedisiplinan, Manajemen Waktu, dan Tanggung Jawab	86,7%	Sangat Baik
Kesiapan Presentasi, Komunikasi, dan Pelaporan	84,5%	Sangat Baik
Budaya Kerja, Adaptasi, dan Kolaborasi Tim	82,6%	Sangat Baik
Rata-rata Capaian Work Readiness	84,6%	Sangat Baik



Grafik 3. Persentase Capaian Indikator Work Readiness Siswa

Skor rata-rata Work Readiness mencapai 84,6% (Sangat Baik). Indikator kedisiplinan dan tanggung jawab mencatat hasil tertinggi karena pengisian logbook proyek menuntut pertanggungjawaban individu secara harian. Hal ini mendongkrak budaya kerja profesional yang sangat krusial bagi lulusan vokasi sebelum terjun ke industri yang sesungguhnya.

Pembahasan Komprehensif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model Project-Based Learning–Green Work Readiness (PjBL-GW) berbasis Prototype KIT PLTS Portable memenuhi kriteria sangat valid, sangat praktis, dan sangat terlaksana. Ketiga indikator tersebut menunjukkan bahwa produk yang dikembangkan memiliki kualitas yang baik dari aspek desain pembelajaran dan implementasi. Namun demikian, ketiga aspek tersebut memiliki makna yang berbeda. Validitas menunjukkan bahwa model dan perangkat pembelajaran telah sesuai dengan landasan teoritis dan kebutuhan pembelajaran menurut penilaian para ahli. Kepraktisan menunjukkan bahwa produk mudah digunakan oleh guru dan peserta didik, sedangkan keterlaksanaan menggambarkan bahwa seluruh sintaks pembelajaran dapat dilaksanakan sesuai rancangan. Dengan demikian, tingginya nilai pada ketiga aspek tersebut belum secara langsung menunjukkan efektivitas model dalam meningkatkan hasil belajar, tetapi menjadi prasyarat penting sebelum efektivitas produk diuji melalui implementasi di kelas.

Peningkatan kompetensi PLTS yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai rata-rata dari 61,9 menjadi 83,7, peningkatan ketuntasan klasikal hingga 91,7%, dan nilai N-Gain sebesar 0,60 mengindikasikan bahwa pembelajaran menggunakan Model PjBL-GW berpotensi meningkatkan penguasaan kompetensi peserta didik pada materi sistem PLTS off-grid. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Sitorus et al. (2025) dan Zhang dan Ma (2023) yang melaporkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk membangun pemahaman melalui pengalaman langsung, sehingga konsep yang

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

dipelajari menjadi lebih bermakna dibandingkan pembelajaran yang hanya berpusat pada penyampaian materi.

Peningkatan kompetensi tersebut diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, penggunaan Prototype KIT PLTS Portable memungkinkan peserta didik melakukan praktik secara langsung mulai dari perencanaan, perakitan, pengujian, hingga *troubleshooting* sistem PLTS. Pengalaman praktik yang autentik membantu peserta didik menghubungkan konsep teoretis dengan penerapannya di lapangan sehingga pemahaman konseptual dan prosedural berkembang secara bersamaan. Kedua, sintaks Model PjBL-GW menempatkan peserta didik sebagai pelaku utama dalam menyelesaikan proyek, sehingga mereka dituntut untuk berdiskusi, mengambil keputusan teknis, dan memecahkan masalah yang muncul selama proses pembelajaran. Kondisi tersebut sesuai dengan karakteristik pendidikan vokasi yang menekankan pembelajaran berbasis pengalaman (*experiential learning*) dan penyelesaian masalah nyata. Meskipun demikian, hasil penelitian ini perlu diinterpretasikan secara hati-hati. Penelitian menggunakan desain one-group pretest–posttest tanpa kelompok kontrol sehingga peningkatan hasil belajar tidak dapat diklaim sepenuhnya sebagai akibat dari penerapan Model PjBL-GW. Faktor lain, seperti pengalaman belajar sebelumnya, motivasi peserta didik, dukungan guru, maupun intensitas praktik selama penelitian, juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan kompetensi yang diperoleh. Oleh karena itu, temuan penelitian lebih tepat dipahami sebagai indikasi bahwa penerapan model memiliki potensi memberikan peningkatan kompetensi teknis pada konteks penelitian ini.

Pada aspek Green Skills, rata-rata capaian sebesar 85,5% menunjukkan bahwa peserta didik telah memperlihatkan perilaku kerja yang mendukung prinsip keberlanjutan selama pelaksanaan proyek. Capaian tertinggi terdapat pada penerapan prosedur keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan (K3LL), sedangkan kemampuan pemecahan masalah dan inovasi hijau memperoleh persentase yang relatif lebih rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa peserta didik lebih mudah mengadopsi perilaku yang bersifat prosedural, seperti penggunaan alat pelindung diri dan pengelolaan area kerja, dibandingkan kemampuan mengambil keputusan teknis yang mempertimbangkan efisiensi energi atau dampak lingkungan. Kondisi tersebut dapat dipahami karena kemampuan berpikir kritis dan inovatif umumnya berkembang melalui pengalaman belajar yang berulang dan proyek dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi.

Hasil tersebut memperkuat pandangan bahwa pengembangan Green Skills tidak cukup dilakukan melalui penyampaian konsep mengenai lingkungan, tetapi perlu diintegrasikan ke dalam aktivitas praktik yang memungkinkan peserta didik menerapkan prinsip keberlanjutan secara langsung. Pada penelitian ini, fase Green Performance Evaluation memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan energi, pemanfaatan material, penerapan K3LL, serta dampak lingkungan dari pekerjaan yang dilakukan. Dengan demikian, pembentukan Green Skills terjadi melalui proses refleksi terhadap pengalaman praktik, bukan hanya melalui penguasaan pengetahuan konseptual. Pengukuran Work Readiness menunjukkan capaian rata-rata sebesar 84,6% dengan kategori sangat baik. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa peserta didik telah memperlihatkan perkembangan pada aspek kedisiplinan, tanggung jawab, komunikasi, kolaborasi, serta kemampuan menyelesaikan pekerjaan sesuai prosedur yang ditetapkan. Capaian tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik Model PjBL-GW yang mengharuskan setiap kelompok menyusun perencanaan kerja, mendokumentasikan aktivitas dalam logbook, menyelesaikan proyek sesuai jadwal, dan mempresentasikan hasil pekerjaan di akhir pembelajaran. Aktivitas tersebut memberikan pengalaman yang menyerupai proses kerja di dunia industri sehingga peserta didik tidak hanya berlatih keterampilan teknis, tetapi juga mengembangkan perilaku profesional.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Meskipun demikian, hasil pengukuran Work Readiness perlu dipahami sesuai dengan keterbatasan instrumen yang digunakan. Penilaian terhadap kesiapan kerja merupakan pengukuran perilaku yang berpotensi dipengaruhi oleh subjektivitas penilai. Untuk mengurangi potensi tersebut, penelitian ini menggunakan rubrik penilaian terstandar yang diterapkan oleh guru produktif dan dua observer, sedangkan penilaian teman sejawat hanya digunakan sebagai data pendukung dan diverifikasi melalui hasil observasi serta dokumentasi logbook proyek. Langkah tersebut dilakukan untuk meningkatkan konsistensi dan objektivitas hasil penilaian, meskipun kemungkinan adanya variasi persepsi antarpenilai tetap tidak dapat dihilangkan sepenuhnya. Dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya menekankan peningkatan hasil belajar atau keterampilan teknis melalui Project-Based Learning, penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan kompetensi teknis PLTS, Green Skills, dan Work Readiness dalam satu model pembelajaran. Integrasi tersebut diwujudkan melalui enam fase pembelajaran yang saling berkaitan serta didukung oleh Prototype KIT PLTS Portable sebagai media praktik yang memungkinkan peserta didik mengalami seluruh tahapan pekerjaan mulai dari perencanaan hingga evaluasi hasil kerja. Oleh karena itu, kontribusi utama penelitian ini bukan hanya pada pengembangan media praktik, tetapi juga pada penyusunan model pembelajaran yang menghubungkan pembentukan kompetensi teknis dengan pengembangan perilaku kerja berkelanjutan dan kesiapan kerja.

Meskipun memberikan hasil yang positif, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Implementasi model hanya dilakukan pada satu sekolah dengan jumlah peserta didik yang relatif terbatas sehingga generalisasi hasil penelitian masih perlu dilakukan secara hati-hati. Selain itu, penelitian belum melibatkan kelompok kontrol maupun analisis statistik inferensial sehingga efektivitas model dibandingkan dengan pendekatan pembelajaran lain belum dapat disimpulkan secara komprehensif. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan sampel yang lebih luas, menggunakan desain eksperimen dengan kelompok pembanding, serta mengkaji keberlanjutan penguasaan Green Skills dan Work Readiness setelah peserta didik menjalani praktik kerja industri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Model Pembelajaran PjBL-GW (*Project-Based Learning - Green Skills and Work Readiness*) berbasis KIT PLTS Portable berhasil dikembangkan melalui tahapan ADDIE dan terbukti sangat layak digunakan dalam pendidikan vokasi. Kelayakan ini dibuktikan dari perolehan skor validitas yang mencapai rata-rata 87,3% (kategori sangat valid) dari para ahli, serta tingkat kepraktisan sebesar 88,7% berdasarkan respon guru dan peserta didik. Selama proses implementasi, seluruh fase sintaks PjBL-GW dapat terlaksana dengan sangat baik dengan persentase 87,1%. Penggunaan model ini terbukti secara signifikan mampu meningkatkan kompetensi teknis PLTS peserta didik, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai dari rata-rata 61,9 menjadi 83,7 dengan skor N-Gain 0,60 (kategori sedang) dan ketuntasan klasikal yang melonjak mencapai 91,7%. Lebih dari itu, sintaks khusus dalam model PjBL-GW secara efektif mampu membangun karakter peduli lingkungan atau *Green Skills* peserta didik dengan capaian 85,5%, serta secara bersamaan menstimulasi kesiapan kerja atau *Work Readiness* di angka 84,6%. Capaian tersebut memastikan bahwa peserta didik tidak hanya cakap secara keilmuan, tetapi juga siap secara mental, disiplin, dan berbudaya kerja profesional untuk memasuki tuntutan industri energi terbarukan modern. Berdasarkan temuan dan simpulan tersebut, terdapat beberapa saran yang direkomendasikan. Pertama, bagi pihak sekolah khususnya SMK Program Keahlian Energi Terbarukan, diharapkan dapat mengadopsi Model PjBL-GW dan mengintegrasikan penggunaan purwarupa KIT PLTS Portable secara rutin dalam kurikulum pembelajaran

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

bengkel untuk meminimalisasi kesenjangan kompetensi dengan industri. Kedua, bagi guru kejuruan, disarankan untuk lebih memperdalam dan membiasakan penggunaan lembar asesmen autentik terintegrasi agar pengukuran *Green Skills* dan *Work Readiness* siswa dapat terpantau secara konsisten pada setiap aktivitas praktik, bukan hanya pada saat proyek akhir. Ketiga, bagi peneliti selanjutnya, direkomendasikan untuk melakukan penelitian eksperimen semu (*quasi-experiment*) dengan melibatkan kelas kontrol dan cakupan sampel wilayah/sekolah yang lebih luas untuk menguji efektivitas model ini pada skala yang lebih besar. Selain itu, desain KIT Portable dapat dikembangkan lebih lanjut agar terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) atau diadaptasi pada sistem energi terbarukan lainnya seperti Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin) maupun Mikrohidro.

DAFTAR PUSTAKA

Abadiyah, L., Yayuk, E., & Restian, A. (2025). The Effect Of Field Work Practice On Vocational Students' Work Readiness And Career Motivation. *Jurnal eduscience*, *12*(4), 1200–1208. https://doi.org/10.36987/jes.v12i4.7334

Affandi, L., Indriayu, M., & Totalia, S. A. (2025). Vocational School Level Learning Model for Work Readiness: A Systematic Literature Review. *International Journal of Research and Community Empowerment*, *3*(2), 58–71. https://doi.org/10.58706/ijorce.v3n2.p58-71

Ahmad, T. S., Watrianthos, R., Dwinggo Samala, A., Muskhir, M., & Dogara, G. (2023). Project-based Learning in Vocational Education: A Bibliometric Approach. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, *15*(4), 43–56. https://doi.org/10.5815/ijmecs.2023.04.04

Albertz, A., & Pilz, M. (2025). Green Alignment, Green Vocational Education and Training, Green Skills and Related Subjects: A Literature Review on Actors, Contents and Regional Contexts. *International Journal of Training and Development*, *29*(2), 243–254. https://doi.org/10.1111/ijtd.12359

Ariza, J. Á., & Olatunde-Aiyedun, T. G. (2023). Bringing Project-Based Learning into Renewable and Sustainable Energy Education: A Case Study on the Development of the Electric Vehicle EOLO. *Sustainability*, *15*(13), 10275. https://doi.org/10.3390/su151310275

Cabral, C., & Lochan Dhar, R. (2019). Green competencies: Construct development and measurement validation. *Journal of Cleaner Production*, *235*, 887–900. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.014

da Costa, T., Aranda Lopez, L. I., Perussello, C., Quinn, F., Crowley, Q. G., McMahon, H., & Holden, N. M. (2025a). Addressing the Demand for Green Skills: Bridging the Gap Between University Outcomes and Industry Requirements. *Sustainability*, *17*(6), 2732. https://doi.org/10.3390/su17062732

ESDM, K. (2024). *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2024*. Esdm.Go.Id. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2024.pdf

Gambo, O., Adedapo, A., Gambo, I., & Ejalonibu, D. (2021). Planning and Designing Online Vocational Skill Showcasing Platform: From an Educational Perspective. *Journal of Technical Education and Training*, *13*(1). https://doi.org/10.30880/jtet.2021.13.01.003

IEA. (2025). *Renewables 2025: Analysis and Forecasts to 2030*.

Inderanata, R. N., & Sukardi, T. (2023). Investigation Study Of Integrated Vocational Guidance On Work Readiness Of Mechanical Engineering Vocational School Students. *Heliyon*, *9*(2), e13333. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13333

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

International Energy Agency. (2023). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028.*

Irfan, A., Nulhakim, L., Suhendar, S., Wardoyo, S., & Widyaningsih, M. (2025). Effectiveness Of Renewable Energy Solar Cell Learning Media In Vocational Education For Electrical Engineering. *Jurnal Taman Vokasi*, *13*(1), 71–80. https://doi.org/https://doi.org/10.30738/jtvok.v13i1.19661

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2025). *Capaian Pembelajaran (CP) teknik energi surya, hidro, dan angin fase F*.

Ngamkajornwiwat, P., Homchanthanakul, J., Teerakittikul, P., & Manoonpong, P. (2020). Bio-Inspired Adaptive Locomotion Control System for Online Adaptation of a Walking Robot on Complex Terrains. *IEEE Access*, *8*, 91587–91602. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992794

OECD. (2023). *OECD Skills Outlook 2023: Skills for a resilient green and digital transition.*

Pavlova, M. (2019). Emerging Environmental Industries: Impact On Required Skills And TVET Systems. *International Journal of Training Research*, *17*(sup1), 144–158. https://doi.org/10.1080/14480220.2019.1639276

Peersia, K., Rappa, N. A., & Perry, L. B. (2024). Work readiness: definitions and conceptualisations. *Higher Education Research & Development*, *43*(8), 1830–1845. https://doi.org/10.1080/07294360.2024.2366322

Potoe, R. M., Boedi, S. D., & Atmaja, I. G. P. (2025). Design And Performance Evaluation Of A 50 Wp Off-Grid Solar Pv Trainer Kit As An Instructional Medium In Vocational Education. *Educatione*, 220–226. https://doi.org/10.59397/edu.v4i1.146

Rahayu, S., Meirawan, D., Ghinaya, Z., & Gandra, M. (2025). Assessing Workplace Readiness of Vocational School Students for Industry 5.0: A Skills Gap Analysis. *Jurnal Pendidikan Teknik Sipil*, *7*(1), 28–36. https://doi.org/10.21831/jpts.v7i1.84543

Ram, M., Aghahosseini, A., & Breyer, C. (2020). Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. *Technological Forecasting and Social Change*, *151*, 119682. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.06.008

Rehman, N., Huang, X., Mahmood, A., AlGerafi, M. A. M., & Javed, S. (2024). Project-Based Learning As A Catalyst For 21st-Century Skills And Student Engagement In The Math Classroom. *Heliyon*, *10*(23), e39988. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39988

Sern, L. C., Zaime, A. F., & Foong, L. M. (2018). Green Skills for Green Industry: A Review of Literature. *Journal of Physics: Conference Series*, *1019*(1), 012030. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1019/1/012030

Sitorus, N., Ginting, B. Br., Panjaitan, B. P., Simanjuntak, B. E., Naibaho, P. R. P., Matondang, A. A., & Simanjuntak, A. V. H. (2025a). Design and Performance Evaluation of a 200 Wp Off-Grid Solar Photovoltaic Module for Renewable Energy in Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, *10*(3), 408–412. https://doi.org/10.25299/jgeet.2025.10.3.24981

Sudarsono, B., Listyaningrum, P., Tentama, F., & Ghozali, F. A. (2024). Developing Learning And Training Within Industry Model To Improve Work Readiness Of Vocational High School Students. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, *13*(3), 1731. https://doi.org/10.11591/ijere.v13i3.26175

Sudjimat, D. A., Nyoto, A., & Romlie, M. (2021). Implementation of Project-Based Learning Model and Workforce Character Development for the 21st Century in Vocational High School. *International Journal of Instruction*, *14*(1), 181–198. https://doi.org/10.29333/iji.2021.14111a

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Suroto, S., Sunyono, S., Sukirlan, M., Winatha, I. K., Yuliyanto, R., & Rahmawati, F. (2024). Factors Affecting the Work Readiness of Vocational School Students: A Systematic Literature Review. *Jurnal Pendidikan Progresif*, *14*(3), 1831–1846. https://doi.org/10.23960/jpp.v14.i3.2024124

Victoria, M., Haegel, N., Peters, I. M., Sinton, R., Jäger-Waldau, A., Cañizo, C. del, Breyer, C., Stocks, M., Blakers, A., Kaizuka, I., Komoto, K., & Smets, A. (2021). Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future. *Joule*, *5*(5), 1041–1056. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.005

Zhang, L., & Ma, Y. (2023a). A Study Of The Impact Of Project-Based Learning On Student Learning Effects: A Meta-Analysis Study. *Frontiers in Psychology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728