

PERANCANGAN DETAIL ENGINEERING DESIGN (DED) LABORATORIUM PLTS BERBASIS TEACHING FACTORY

Berbie Yesa Patras¹, Dibrian Ananta Rongkonusa², Leony Ariesta Wenno³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Manado

¹sancayberbie19@gmail.com, ²dibrianrongkonusa123@gmail.com,

³leonywenno@elektro.polimdo.ac.id

ABSTRACT

Indonesia sits on the equator and receives some of the most abundant solar irradiation in the world, making Solar Power Plant (SPP) technology a natural fit for the country's long-term energy strategy. Despite this geographic advantage, one persistent challenge remains: the shortage of technically skilled workers who can install, operate, and maintain SPP systems to industry standards. Vocational education institutions are expected to fill that gap, yet many still operate with laboratory facilities that are outdated, incomplete, and far removed from real working conditions. This study was conducted to address that issue by producing a Detail Engineering Design (DED) for a Teaching Factory-based SPP Laboratory at Politeknik Negeri Manado. The work was carried out using a descriptive engineering design approach, combining literature review, field observation at the campus Renewable Energy Laboratory, and regular supervisory consultations. The design covers load requirement analysis, component sizing for solar modules, Solar Charge Controller, lithium battery and hybrid inverter, electrical installation layout, protection system, Single-Line Diagram, and wiring diagram. The final product is a complete DED package comprising detailed engineering drawings, component specifications, Bill of Quantity, and construction cost estimates. A hybrid system configuration was chosen to ensure a stable power supply throughout laboratory sessions, using solar energy as the primary source with automatic switchover to battery storage or the PLN grid as backup.

Keywords: *solar power plant, Teaching Factory, detail engineering design, vocational laboratory, renewable energy*

ABSTRAK

Indonesia berada di garis khatulistiwa dan menerima radiasi surya yang melimpah sepanjang tahun, menjadikan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai pilihan yang sangat strategis dalam peta energi nasional jangka panjang. Namun di balik keunggulan geografis ini, ada tantangan yang belum tuntas diatasi: kelangkaan tenaga kerja terampil yang mampu memasang, mengoperasikan, dan merawat sistem PLTS sesuai standar industri. Lembaga pendidikan vokasi

diharapkan mengisi kekosongan itu, tetapi kenyataannya banyak institusi vokasi masih mengoperasikan laboratorium yang sudah ketinggalan zaman, tidak lengkap, dan jauh dari kondisi kerja nyata. Penelitian ini dilakukan untuk menjawab persoalan tersebut dengan menyusun Detail Engineering Design (DED) Laboratorium PLTS Berbasis Teaching Factory di Politeknik Negeri Manado. Penelitian menggunakan pendekatan perancangan teknik deskriptif melalui studi literatur, observasi lapangan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan kampus, dan konsultasi rutin bersama dosen pembimbing. Perancangan mencakup analisis kebutuhan beban, penentuan ukuran komponen meliputi modul surya, Solar Charge Controller, baterai litium dan inverter hybrid, tata letak instalasi listrik, sistem proteksi, Single Line Diagram, serta wiring diagram. Luaran akhir berupa paket DED lengkap yang terdiri dari gambar teknik detail, spesifikasi komponen, Bill of Quantity, dan estimasi biaya konstruksi. Konfigurasi sistem hybrid dipilih guna memastikan pasokan daya yang stabil selama kegiatan laboratorium berlangsung, dengan energi surya sebagai sumber utama dan peralihan otomatis ke penyimpanan baterai atau jaringan PLN sebagai cadangan.

Kata Kunci: pembangkit listrik tenaga surya, Teaching Factory, detail engineering design, laboratorium vokasi, energi terbarukan

A. Pendahuluan

Transisi menuju energi bersih bukan lagi wacana — ini sudah menjadi agenda nyata yang sedang dikejar oleh hampir semua negara di dunia, termasuk Indonesia. Komitmen pemerintah terhadap bauran energi terbarukan terus menguat dari tahun ke tahun, dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berada di garis terdepan upaya tersebut. Bukan tanpa alasan: Indonesia terletak persis di kawasan khatulistiwa, menerima penyinaran matahari rata-rata 4,8

hingga 5,5 kWh/m² per hari — salah satu yang tertinggi di dunia dan berlangsung konsisten sepanjang tahun (KESDM, 2021; Bull, 2001).

Ekspansi PLTS yang terus berlangsung membawa konsekuensi langsung: kebutuhan tenaga teknis yang terampil di bidang ini melonjak tajam. Merancang sistem, memasang panel, mendiagnosis gangguan, merawat inverter — semua itu memerlukan kompetensi teknis yang tidak bisa sekadar dipelajari dari buku. Pendidikan vokasi, khususnya

politeknik, seharusnya menjadi tulang punggung dalam mencetak SDM yang siap kerja di sektor ini (IRENA, 2023).

Masalahnya, kondisi laboratorium di banyak institusi vokasi belum mencerminkan realita industri. Peralatan yang tersedia kerap sudah usang, sistem proteksi dan keselamatan sering tidak lengkap, dan yang paling krusial — prosedur serta alur kerja yang diterapkan sangat jauh dari standar lapangan. Akibatnya, mahasiswa lulus dengan kompetensi teoritis yang cukup, namun kesenjangan keterampilan praktisnya masih sangat lebar (Ditjen Pendidikan Vokasi, 2020).

Konsep Teaching Factory hadir sebagai jawaban atas kesenjangan tersebut. Alih-alih sekadar menyediakan ruang praktik, Teaching Factory mengubah laboratorium menjadi cerminan nyata lingkungan industri: standar operasional, alur kerja, prosedur keselamatan, hingga budaya kerja diterapkan persis seperti yang berlaku di lapangan. Mahasiswa tidak hanya belajar — mereka bekerja seperti teknisi sesungguhnya (Kemendikbudristek, 2022).

Mewujudkan laboratorium semacam itu membutuhkan fondasi perencanaan teknis yang kokoh dan

menyeluruh, yang dituangkan dalam bentuk dokumen Detail Engineering Design (DED). DED adalah peta jalan teknis yang memandu seluruh proses pembangunan — dari perhitungan kapasitas dan pemilihan komponen, hingga gambar instalasi, diagram kelistrikan, dan estimasi anggaran (Masters, 2013). Atas dasar itulah penelitian ini dilaksanakan: menyusun DED Laboratorium PLTS Berbasis Teaching Factory di Politeknik Negeri Manado sebagai langkah konkret menuju fasilitas pendidikan vokasi yang lebih relevan dan berdampak.

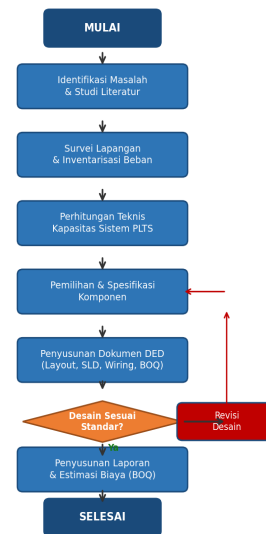
B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan teknik deskriptif yang dikerjakan melalui tiga jalur secara bersamaan. Pertama, studi literatur — penulis menggali referensi dari buku teks teknik, jurnal ilmiah, standar nasional dan internasional (BSN, 2000; IEC, 2017; IEC, 2004), serta panduan perencanaan PLTS dari Kementerian ESDM. Kedua, observasi lapangan langsung di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (Lab EBT) Politeknik Negeri Manado, termasuk pencatatan data operasional dari sistem monitoring dan SCADA yang sudah

terpasang. Ketiga, konsultasi berkala bersama dosen pembimbing untuk memvalidasi setiap keputusan teknis dan memastikan keselarasan dengan standar akademik.

Perancangan DED dilaksanakan secara bertahap: (1) identifikasi masalah dan studi literatur sebagai fondasi pengetahuan; (2) survei dan inventarisasi beban peralatan yang akan dipasang sistem PLTS; (3) perhitungan teknis mencakup kebutuhan energi harian, kapasitas panel surya, Solar Charge Controller (SCC), baterai, dan inverter; (4) penyusunan dokumen desain berupa layout laboratorium, Single Line Diagram (SLD), wiring diagram, dan diagram blok; serta (5) validasi desain terhadap standar teknis kelistrikan yang berlaku berikut penyusunan Bill of Quantity (BOQ) dan estimasi biaya. Alur penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 Alur Penelitian



Gambar 1 Alur Penelitian

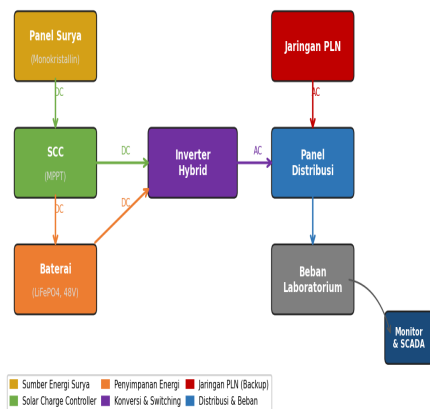
Penelitian berlangsung selama kurang lebih satu bulan di Lab EBT, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado. Komponen bahan yang diteliti mencakup panel surya monokristalin, baterai litium LiFePO₄, Solar Charge Controller tipe MPPT, inverter hybrid, MCB, kabel NYY/NYYHY, box panel, dan komponen pendukung lainnya. Alat yang digunakan meliputi multimeter digital, bor elektrik, gerindra, berbagai jenis tang, dan meteran.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Setelah melalui proses analisis kebutuhan beban dan pengamatan kondisi lapangan, konfigurasi hybrid

ditetapkan sebagai pilihan sistem PLTS untuk Laboratorium PLTS Politeknik Negeri Manado. Pertimbangannya jelas: kegiatan praktikum di laboratorium tidak boleh terhenti hanya karena langit mendung atau panel surya tidak berproduksi di malam hari. Dengan sistem hybrid, surplus energi siang hari tersimpan ke baterai, dan saat produksi panel menurun, sistem otomatis beralih ke baterai atau jaringan PLN tanpa jeda yang berarti (Messenger & Ventre, 2010; Markvart, 2000). Diagram blok sistem PLTS hybrid yang dirancang disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2 Diagram Blok Sistem PLTS Hybrid



Gambar 2 Diagram Blok Sistem PLTS Hybrid

Perancangan diawali dengan menghitung total kebutuhan energi harian seluruh beban laboratorium menggunakan persamaan:

$$E_{load} = \sum (P_i \times t_i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

E_{load} adalah total energi beban harian (Wh), P_i daya tiap perangkat (W), dan t_i lama penggunaan per hari (jam). Kapasitas total panel surya dihitung dari:

$$P_{total} = P_{panel} \times N \quad \dots\dots\dots (2)$$

P_{panel} adalah daya nominal satu panel (W_p) dan N jumlah panel yang dipasang. Kapasitas arus minimum Solar Charge Controller (SCC) ditentukan dari:

$$ISCC = P_{panel \text{ total}} / V_{sistem} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Nilai ISCC dikalikan faktor pengaman 1,25 s.d. 1,30 (Duffie & Beckman, 2013). Kapasitas baterai dihitung dari:

$$E \text{ (Wh)} = V \text{ (V)} \times C \text{ (Ah)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Kapasitas inverter hybrid wajib melampaui beban puncak dengan margin keamanan:

$$P_{inv} \geq P_{load} \times k_s \quad \dots\dots\dots (5)$$

Faktor ks umumnya diambil antara 1,25 hingga 1,50. Rating MCB pada tiap cabang distribusi dihitung dari:

$$IMCB = P / (V \times \cos\phi)$$

..... (6)

Sementara ukuran penampang minimum kabel dihitung dari:

$$A = (\rho \times L \times I) / \Delta V$$

..... (7)

Dengan A adalah luas penampang (mm²), ρ resistivitas konduktor (tembaga: 0,0175 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; aluminium: 0,028 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), L panjang kabel (m), I arus maksimum (A), dan ΔV batas tegangan jatuh yang diizinkan (V) (Goswami et al., 2000; BSN, 2000).

Hasil seluruh perhitungan dituangkan dalam Single Line Diagram (SLD) yang menggambarkan aliran daya dari array panel surya, melalui SCC, ke baterai dan inverter hybrid, kemudian ke panel distribusi utama laboratorium. Wiring diagram merinci koneksi fisik setiap komponen beserta polaritas, ukuran kabel, dan titik-titik grounding. Spesifikasi

komponen utama hasil perancangan dirangkum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Spesifikasi Komponen Utama Sistem PLTS

Komponen / Tipe	Kapasitas	Keterangan
Panel Surya (Monokristalin)	400 Wp/panel	Sesuai perhitungan beban
SCC (MPPT)	Sesuai arus panel	Faktor keamanan 25%
Baterai Litium (LiFePO ₄ , 48V)	Sesuai kebutuhan backup	≥2.000 siklus
Inverter Hybrid (Auto-switching)	Pmaks × 1,25	Switching otomatis
MCB (IEC 60898)	Per pers. (6)	Tiap cabang distribusi
Kabel (NYY/NYYHY)	Per pers. (7)	Inti tembaga, isolasi PVC

Paket dokumen DED yang dihasilkan terdiri dari enam komponen utama: (1) gambar teknik detail mencakup layout laboratorium, posisi modul surya di atap, dan jalur instalasi; (2) SLD yang merangkum keseluruhan aliran daya; (3) wiring diagram PLTS hybrid; (4) diagram blok hubungan fungsional sistem; (5) Bill of Quantity (BOQ) berisi daftar lengkap material beserta volume dan spesifikasinya; serta (6) estimasi biaya sebagai dasar penyusunan RAB.

Setiap keputusan teknis mengacu pada regulasi yang berlaku: PUIL 2000 (BSN, 2000) untuk instalasi listrik umum, IEC 60364-7-712 (IEC, 2017) untuk sistem fotovoltaiik, dan IEC 61727 (IEC, 2004) untuk

antarmuka jaringan. Sistem grounding dirancang untuk melindungi komponen dari lonjakan tegangan yang tidak terduga (Luque & Hegedus, 2011).

Laboratorium berbasis Teaching Factory ini dirancang agar mahasiswa tidak hanya memahami cara kerja sistem PLTS, tetapi juga mengembangkan kebiasaan kerja profesional: membaca diagram dengan benar, mengikuti prosedur keselamatan, dan mendiagnosis gangguan secara sistematis. Inilah esensi Teaching Factory yang sesungguhnya (Kemendikbudristek, 2022).

D. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menyelesaikan penyusunan dokumen Detail Engineering Design (DED) Laboratorium PLTS Berbasis Teaching Factory di Politeknik Negeri Manado secara lengkap dan terstruktur. Dokumen yang dihasilkan mencakup gambar teknik detail, Single Line Diagram, wiring diagram PLTS hybrid, diagram blok sistem, spesifikasi seluruh komponen utama, Bill of Quantity, dan estimasi biaya konstruksi — kesemuanya siap

menjadi acuan teknis bagi pelaksana pembangunan di lapangan.

Sistem PLTS dengan konfigurasi hybrid yang dirancang terbukti menjadi pilihan paling tepat untuk konteks laboratorium pendidikan, karena mampu menjamin keandalan pasokan daya tanpa bergantung pada kondisi cuaca. Laboratorium berbasis Teaching Factory ini diharapkan dapat menggeser paradigma belajar mahasiswa dari sekadar menerima teori di kelas menuju pengalaman kerja nyata yang mempersiapkan mereka untuk terjun langsung ke industri energi terbarukan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan analisis kinerja sistem secara aktual pasca konstruksi serta kajian kelayakan ekonomi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2000). SNI 04-0225-2000: Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000). Jakarta: BSN.
- Bull, S. R. (2001). Renewable energy today and tomorrow. *Proceedings of the IEEE*, 89(8), 1216–1226.
<https://doi.org/10.1109/5.940290>
- Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi (Ditjen Pendidikan Vokasi). (2020). *Pedoman*

- Pengembangan Teaching Factory di Perguruan Tinggi Vokasi. Jakarta: Kemendikbud.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Goswami, D. Y., Kreith, F., & Kreider, J. F. (2000). *Principles of Solar Engineering* (2nd ed.). Philadelphia: Taylor & Francis.
- IEC 60364-7-712. (2017). *Requirements for Special Installations or Locations: Solar Photovoltaic (PV) Power Supply Systems*. Geneva: IEC.
- IEC 61727. (2004). *Photovoltaic (PV) Systems — Characteristics of the Utility Interface*. Geneva: IEC.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). *Renewable Energy Statistics 2023*. Abu Dhabi: IRENA.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021–2030*. Jakarta: KESDM.
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek). (2022). *Panduan Implementasi Teaching Factory di SMK dan Politeknik*. Jakarta: Kemendikbudristek.
- Luque, A., & Hegedus, S. (Eds.). (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (2nd ed.). Chichester: Wiley.
- Markvart, T. (Ed.). (2000). *Solar Electricity* (2nd ed.). Chichester: Wiley.
- Masters, G. M. (2013). *Renewable and Efficient Electric Power Systems* (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Messenger, R. A., & Ventre, J. (2010). *Photovoltaic Systems Engineering* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.