

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

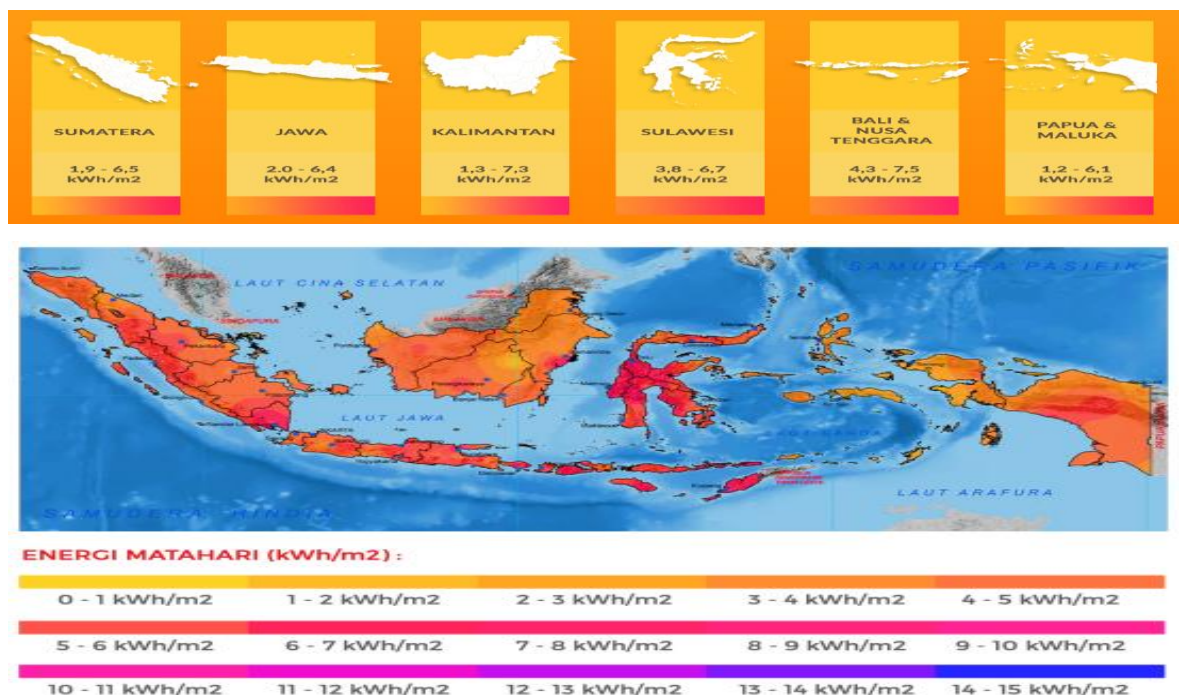
Pemerataan akses energi listrik di seluruh wilayah Indonesia masih menghadapi tantangan besar, terutama di daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar). Kondisi geografis yang sulit dijangkau serta keterbatasan infrastruktur membuat suplai energi konvensional tidak efisien dan mahal. Oleh karena itu, diperlukan solusi desentralisasi energi berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk menjamin keberlanjutan dan kemandirian energi masyarakat.

Salah satu inovasi yang dikembangkan oleh PT PLN (Persero) Pusharlis adalah SuperSun, yakni sistem Kompak Daya berbasis baterai yang menggabungkan teknologi *PV Rooftop* dengan *Battery Energy Storage System* (BESS) skala kecil. Kompak Daya berbasis baterai dirancang untuk menyediakan listrik secara mandiri (*off-grid system*), efisien, dan mudah diterapkan di wilayah dengan keterbatasan jaringan listrik utama.

SuperSUN merupakan hasil karya inovasi dari PLN UIW Papua dan Papua Barat yang mengintegrasikan teknologi *PV Rooftop* (Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap) dengan mikro BESS (*Battery Energy Storage System*) dalam satu sistem kompak. Produk ini dirancang untuk mendukung program elektrifikasi desa di wilayah 3T. Sistemnya menggunakan baterai LiFePO₄ (*Lithium Iron Phosphate*) dengan kapasitas hingga 2,56 kWh, dilengkapi dengan *Smart BMS* (*Battery Management System*) yang mampu menjaga kestabilan penyimpanan energi dan keamanan operasi.

Provinsi Province	Stasiun BMKG BMKG Station	Jumlah Curah Hujan (mm/tahun) Number of Precipitation (mm/year)	Jumlah Hari Hujan (hari) Number of Rainy Days (day)	Penyinaran Matahari (jam) Duration of Sunshine (hour)
(1)	(2)	(15)	(16)	(17)
Aceh	Klimatologi Aceh	1 834,10	162	5,10
Sumatera Utara	Klimatologi Sumatera Utara	3 269,50	200	4,50
Sumatera Barat	Klimatologi Sumatera Barat	4 950,50	223	4,51
Riau	Klimatologi Riau ¹	3 231,10	168	4,52
Jambi	Klimatologi Jambi	3 265,60	174	4,21
Sumatera Selatan	Klimatologi Sumatera Selatan	3 250,20	219	4,07
Bengkulu	Klimatologi Bengkulu	4 518,50	201	5,95
Lampung	Klimatologi Lampung ¹	2 099,10	162	4,86
Kepulauan Bangka Belitung	Klimatologi Bangka Belitung	3 026,70	234	3,74
Kepulauan Riau	Meteorologi Hang Nadim	2 590,60	204	4,51
DKI Jakarta	Meteorologi Kemayoran	2 136,30	158	3,85
Jawa Barat	Klimatologi Jawa Barat	3 505,40	239	4,92
Jawa Tengah	Klimatologi Jawa Tengah	2 643,90	188	6,02
DI Yogyakarta	Klimatologi DI Yogyakarta	3 161,20	214	4,55
Jawa Timur	Klimatologi Jawa Timur	3 059,70	211	5,50
Banten	Klimatologi Banten	2 877,20	201	4,21
Bali	Klimatologi Bali	2 834,40	200	5,92
Nusa Tenggara Barat	Klimatologi Nusa Tenggara Barat	2 649,90	168	6,60
Nusa Tenggara Timur	Klimatologi Nusa Tenggara Timur	2 183,00	127	7,79
Kalimantan Barat	Klimatologi Kalimantan Barat	3 040,60	200	4,93
Kalimantan Tengah	Meteorologi Tjilik Riwt	3 259,10	240	4,81
Kalimantan Selatan	Klimatologi Kalimantan Selatan	2 738,10	206	4,21
Kalimantan Timur	Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepingga	3 313,70	224	4,30
Kalimantan Utara	Meteorologi Nunukan	2 065,30	207	5,01
Sulawesi Utara	Klimatologi Sulawesi Utara	3 529,80	256	4,77
Sulawesi Tengah	Meteorologi Mutiara Sis-AI Jufri	879,40	175	5,01
Sulawesi Selatan	Klimatologi Sulawesi Selatan	4 650,90	209	5,67
Sulawesi Tenggara	Klimatologi Sulawesi Tenggara ¹	2 695,40	222	4,24
Gorontalo	Klimatologi Gorontalo ¹	2 082,80	202	4,35
Sulawesi Barat	Meteorologi Majene	2 395,80	168	6,00
Maluku	Klimatologi Maluku ¹	3 766,00	244	5,54
Maluku Utara	Meteorologi Sultan Babullah	2 913,90	238	5,50
Papua Barat	Klimatologi Papua Barat ¹	1 549,00	174	4,69
Papua	Klimatologi Jayapura ¹	2 576,30	207	5,27

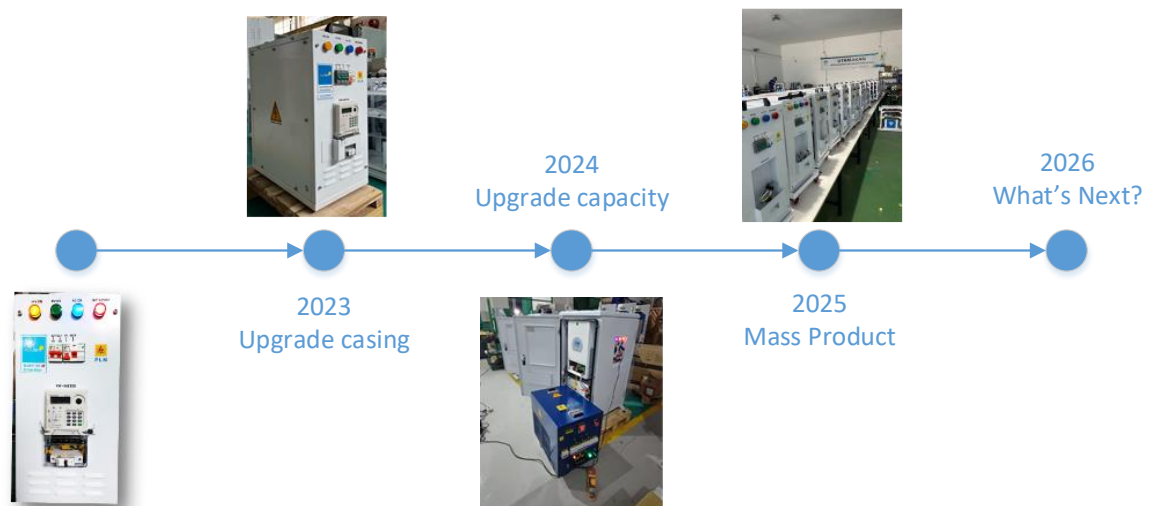
Gambar 1.1 Irradiance



Gambar 1.2 Lama Penyinaran Matahari

Gambar “Irradiance dan Lama Penyinaran Matahari” merupakan hasil analisis sebaran potensi energi surya di seluruh wilayah Indonesia yang bersumber dari data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Gambar tersebut memberikan informasi mengenai jumlah curah hujan tahunan, hari hujan per tahun, dan lama penyinaran matahari harian rata-rata di berbagai stasiun klimatologi provinsi di Indonesia.

Tujuan dari penyajian data ini adalah untuk menampilkan bahwa potensi energi terbarukan dari energi surya sangat besar dan tersebar baik hampir di wilayah seluruh Indonesia.



Gambar 1.3 Perjalanan Peralatan Kompak Daya

Gambar “*Perjalanan Peralatan Kompak Daya*” menggambarkan perjalanan inovasi produk Kompak Daya (SuperSUN) sejak versi awal hingga tahapan pengembangan terbaru. Dimulai dari versi inovator (*Innovator Version*) ditahun 2021 – 2022 yang menjadi prototipe pertama sistem kompak daya berbasis baterai, kemudian ditahun 2023 mengalami penyempurnaan pada tahap *Casing Upgrade* untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem. Selanjutnya, pada tahun 2024 pengembangan diarahkan pada peningkatan *Kapasitas* guna memenuhi kebutuhan daya yang lebih besar di komunitas terpencil. Tahap berikutnya yaitu produk massal pada tahap ini produk kompak daya di desain dan spesifikasi produk telah distandarisasi, proses fabrikasi dan perakitan

dilakukan secara konsisten, kontrol kualitas (*quality control*) diterapkan secara menyeluruh. Fase ini menunjukkan bahwa Kompak Daya telah siap digunakan secara luas dan diproduksi dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan pengguna.

Namun, agar sistem ini berjalan optimal dan transparan, diperlukan alat sistem pemantauan transaksi energi yang dapat merekam data produksi dan penyimpanan energi secara real-time. Pemantauan ini penting untuk menganalisis performa sistem, efisiensi konversi energi, serta mendukung kebijakan manajemen energi di daerah 3T (tertinggal, terdepan, terluar). Seiring dengan perkembangan kebutuhan operasional di lapangan, sistem peralatan Kompak Daya juga memerlukan pembaruan (*upgrade*) fitur agar mampu beradaptasi dengan tantangan geografis dan kondisi jaringan yang terbatas. Selain itu juga membutuhkan penyempurnaan sistem penyimpanan data yang berfungsi sebagai penyimpan cadangan lokal (*local data logger*). Fitur ini memastikan seluruh data penting seperti tegangan baterai, arus pengisian, durasi operasi, dan riwayat transaksi energi tetap terekam dengan aman meskipun terjadi gangguan jaringan internet atau listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, sistem Kompak Daya yang berfungsi sebagai solusi elektrifikasi berbasis Kompak Daya dengan teknologi *PV Rooftop* dan *Battery Energy Storage System* (BESS) masih memerlukan pengembangan dan penyempurnaan dalam hal pemantauan, pelacakan, serta penyimpanan data energi agar kinerjanya semakin efektif, transparan, dan berkelanjutan. Untuk itu, kajian ini dirumuskan guna menjawab beberapa permasalahan pokok sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pemantauan transaksi energi digital yang lebih modern dan terintegrasi, yang mampu merekam data produksi, konsumsi, serta penyimpanan energi pada sistem Kompak Daya secara real-time dan akurat?
2. Bagaimana pembaruan teknologi pada sistem Kompak Daya, khususnya dengan penambahan fitur pelacak lokasi berbasis GPS (*Global Positioning System*), dapat membantu PLN Pusharlis dalam mengawasi distribusi, posisi, dan status operasional unit Peralatan Kompak Daya di wilayah 3T (tertinggal, terdepan, terluar) yang tersebar luas dan sulit dijangkau?

3. Bagaimana peran media penyimpanan data *MicroSD* sebagai cadangan data lokal (*local data logger*) dalam menjaga keberlanjutan pencatatan parameter penting seperti arus, tegangan, dan konsumsi energi, terutama saat jaringan internet atau sistem komunikasi tidak stabil?
4. Bagaimana integrasi antara sistem PV Rooftop, baterai BESS, GPS, *MicroSD*, dan *IoT Monitoring* dapat meningkatkan efisiensi energi, keandalan operasi, serta transparansi transaksi energi masyarakat di daerah terpencil?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis, merancang, dan mengevaluasi sistem pemantauan transaksi energi digital berbasis kompak daya yang diperbarui dengan teknologi pelacak lokasi (GPS) dan penyimpanan data (*MicroSD*). Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem pemantauan transaksi energi terintegrasi yang mampu merekam data produksi, konsumsi, serta penyimpanan energi secara *real-time* dan dapat diakses melalui platform digital *Monitoring System*.
2. Mengevaluasi efektivitas integrasi teknologi *GPS (Global Positioning System)* sebagai alat pelacak lokasi unit Kompak Daya untuk meningkatkan akurasi pemantauan posisi perangkat, mempermudah pengawasan distribusi aset, dan mendukung proses inspeksi teknis di lapangan.
3. Menilai manfaat penggunaan media penyimpanan data *MicroSD* sebagai sistem cadangan (*local data logger*) dalam merekam data teknis seperti tegangan, arus, suhu, kapasitas baterai, dan riwayat transaksi energi, khususnya di wilayah dengan jaringan internet terbatas.
4. Menguji performa system peralatan Kompak Daya setelah dilakukan pembaruan terhadap komponen digitalnya, baik dari sisi efisiensi konversi energi, stabilitas daya, maupun akurasi monitoring berbasis IoT.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang luas, baik secara akademis, praktis, sosial, maupun strategis, terutama dalam konteks pengembangan inovasi energi terbarukan di wilayah 3T (tertinggal, terdepan, terluar) dan digitalisasi sistem monitoring PLN Pushharlis.

1. Manfaat Akademis

- Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang integrasi teknologi digital.
- Menjadi referensi penelitian dalam pengembangan peralatan Kompak Daya sistem monitoring dan pelacakan energi terdistribusi untuk daerah terpencil.
- Menjadi dasar konseptual bagi kajian lanjut mengenai *smart energy management system* di sektor ketenagalistrikan Indonesia.

2. Manfaat Praktis

- Memberikan panduan teknis bagi PLN Pushharlis dan unit pelaksana proyek dalam melakukan pembaruan sistem Kompak Daya agar lebih efektif, akurat, dan mudah dipantau secara jarak jauh.
- Membantu operator lapangan dan teknisi dalam melakukan pemeliharaan dan evaluasi performa sistem melalui fitur GPS dan penyimpanan data otomatis pada MicroSD.
- Memperkuat kemampuan pengawasan aset (*asset monitoring*) dan transparansi transaksi energi pada unit Kompak Daya di lapangan.

3. Manfaat Sosial dan Ekonomi

- Meningkatkan kemandirian energi masyarakat daerah 3T (tertinggal, terdepan, terluar) dengan sistem listrik yang handal, efisien, dan mudah dikontrol secara digital.
- Mendorong pertumbuhan ekonomi lokal melalui ketersediaan listrik yang stabil untuk kegiatan pendidikan, perdagangan, dan layanan publik.
- Meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap penggunaan energi bersih dan efisiensi energi, sejalan dengan program pemerintah dalam transisi energi nasional.

4. Manfaat bagi Perusahaan

- Mendukung implementasi strategi PLN 4.0 dengan tiga pilar utama: Dekarbonisasi, Desentralisasi, dan Digitalisasi.
- Memperkuat posisi PLN Pusharlis sebagai pusat inovasi teknologi energi dalam pengembangan produk unggulan nasional berbasis EBT (Energi Baru Terbarukan).

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada pengembangan, penerapan, dan evaluasi sistem pemantauan transaksi energi digital pada produk yang merupakan inovasi Kompak Daya berbasis baterai (*BESS – Battery Energy Storage System*) hasil karya PT PLN (Persero). Penelitian ini membahas aspek teknis, fungsional, serta integrasi sistem digital pendukung seperti GPS (*Global Positioning System*) dan *MicroSD* (Media Penyimpanan Data) sebagai bagian dari penyempurnaan teknologi Kompak Daya. Secara lebih rinci, ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Merancang sistem pemantauan transaksi energi berbasis IoT yang mencatat produksi dan sisa kapasitas energi secara real-time.
2. Mengembangkan mekanisme komunikasi data dan integrasi cloud server untuk mendukung pelaporan otomatis dan analisis performa sistem.
3. Mengimplementasikan GPS (*Global Positioning System*) sebagai alat pelacak lokasi unit peralatan Kompak Daya guna mendukung sistem pengawasan aset, pemetaan distribusi, dan koordinasi teknisi lapangan.
4. Menggunakan *MicroSD* sebagai *local data logger* untuk merekam data teknis seperti arus, tegangan, suhu, serta riwayat transaksi energi ketika jaringan komunikasi tidak tersedia.
5. Mengevaluasi efektivitas kombinasi GPS dan *MicroSD* terhadap keandalan sistem monitoring dan keberlanjutan pencatatan data energi.
6. Pengujian teknis dan digitalisasi sistem pemantauan energi yang melibatkan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) pada unit peralatan Kompak Daya.