

**SOLARGRID-X Jatinangor: Inovasi Desentralisasi Energi Surya
Komunitas Berbasis IoT dan Blockchain Menuju Transisi Energi
Digital Berkelanjutan**



Diajukan untuk Lomba Esai Nasional

CLEANOvation

“Youth Action for a Sustainable Energy Future”

Nama Ketua : Fikri Dwi Novianto
Nama Anggota : Adinda Dwi Septia
Email & Nomor WA : fikridnovianto@gmail.com & 081946967597
Subtema Esai : Teknologi Energi Terbarukan dan Inovasi Digital
Tahun : 2025

PENDAHULUAN

Di tengah eskalasi kebutuhan energi dan tekanan global terhadap emisi karbon, Indonesia tengah memasuki babak penting dalam mereformasi sistem energi nasional. Mengacu pada laporan resmi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2023), pertumbuhan konsumsi energi nasional mencapai 4,5% per tahun, namun porsi energi terbarukan dalam bauran energi primer baru menyentuh 13,1% per akhir tahun 2023. Pencapaian tersebut masih jauh dari ambang 23% yang direncanakan pada tahun 2025 dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) berdasarkan Peraturan Presiden Tahun 2017, yang memiliki potensi teknis lebih dari 200 GWp, belum termanfaatkan optimal. Ketergantungan pada sistem sentralistik dan belum efisiennya skema insentif menjadi hambatan utama dalam percepatan transisi energi (IESR, 2023).

Secara geografis dan klimatologis, Indonesia sangat ideal untuk pengembangan energi surya. Dengan rata-rata radiasi matahari harian mencapai 4-5 kWh/m², wilayah-wilayah padat penduduk seperti Jatinangor memiliki peluang besar untuk mengembangkan sistem energi berbasis panel surya atap rumah tangga. Sayangnya, sistem PLTS atap yang sudah dipasang umumnya hanya digunakan untuk keperluan mandiri, tanpa adanya skema distribusi atau pemanfaatan energi surplus secara kolektif. Di sisi lain, model distribusi energi terdesentralisasi seperti *peer-to-peer energy sharing* berbasis teknologi *blockchain* dan IoT mulai berkembang di berbagai negara maju dan menawarkan pendekatan baru yang demokratis, efisien, serta berorientasi komunitas (Mengelkamp et al., 2021).

Jatinangor sebagai wilayah semi-perkotaan dengan populasi yang terdiri dari mahasiswa, dosen, warga lokal, dan pelaku UMKM, menghadirkan konteks sosial yang unik untuk pengembangan ekosistem energi komunitas. Adanya lahan terbatas, dominasi rumah tapak, serta kultur akademik progresif menjadikan Jatinangor bukan hanya lokasi uji coba yang tepat, tetapi juga inkubator ideal bagi integrasi teknologi terbarukan dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan energi. Oleh karena itu, pendekatan desentralisasi energi yang mengedepankan keadilan distribusi, efisiensi lokal, dan kemandirian warga menjadi semakin relevan untuk diterapkan (Zhou et al., 2022).

Melalui latar belakang tersebut, tulisan ini mengangkat sebuah inovasi bernama **SOLARGRID-X (Sustainable On-demand Localized Autonomous Renewable Grid eXtended) Jatinangor**, yakni sistem mikrogrid komunitas

berbasis energi surya yang dikombinasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *blockchain*. Inovasi ini bertujuan untuk menciptakan mekanisme distribusi energi yang adil, otomatis, dan transparan antar rumah dalam satu lingkungan, serta memungkinkan warga menjadi produsen sekaligus pengelola energi mereka sendiri. Dengan mengintegrasikan komponen teknis dan sosial secara utuh, SOLARGRID-X diharapkan mampu menjadi model percontohan transisi energi digital berbasis komunitas yang dapat direplikasi secara luas di berbagai wilayah Indonesia.

PEMBAHASAN

Transisi energi telah menjadi salah satu prioritas utama pembangunan nasional Indonesia dalam dekade terakhir. Sebagai negara beriklim tropis yang dianugerahi intensitas radiasi matahari tinggi sepanjang tahun, Indonesia memiliki peluang strategis untuk beralih dari sistem energi sentralistik berbasis fosil menuju sistem desentralistik berbasis energi terbarukan. Menurut catatan ESDM, kapasitas teknis tenaga surya di Indonesia diperkirakan melebihi 207,8 GWp, tetapi jumlah instalasi aktual yang telah beroperasi hingga 2023 baru menyentuh angka 0,3% dari total tersebut (ESDM, 2023). Rendahnya adopsi sistem energi surya, terutama di sektor rumah tangga, karena beragam kendala termasuk biaya awal yang tinggi awal instalasi, kurangnya sistem insentif, hingga keterbatasan dalam pengelolaan dan distribusi energi surplus.

Permasalahan tersebut semakin nyata di kawasan semi-perkotaan seperti Jatinangor, yang memiliki karakteristik padat penduduk, dominasi rumah tapak, serta pola konsumsi energi yang meningkat seiring dengan pertumbuhan aktivitas akademik, perumahan mahasiswa, dan kegiatan UMKM lokal. Sayangnya, infrastruktur kelistrikan yang ada belum sepenuhnya adaptif terhadap kebutuhan desentralisasi energi yang berbasis komunitas. Dalam konteks inilah, inovasi bernama SOLARGRID-X Jatinangor dikembangkan. SOLARGRID-X adalah purwarupa sistem mikrogrid komunitas yang dirancang untuk memungkinkan transaksi dan distribusi energi surya antar rumah tangga dalam satu wilayah secara otomatis, transparan, dan terdesentralisasi melalui integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *blockchain*.

Sistem SOLARGRID-X terdiri dari tiga lapisan utama. Pertama, lapisan fisik, yang mencakup pemasangan panel surya berkapasitas 1 kWp pada tiap rumah, sensor energi (seperti INA219 atau PZEM-004T), microinverter modular,

dan modul kontrol berbasis ESP32. Panel surya menghasilkan energi listrik yang diubah menjadi arus AC oleh inverter, sementara sensor energi mencatat produksi dan konsumsi secara *real-time*. Kedua, lapisan komunikasi, yang menggunakan jaringan mesh Wi-Fi antar rumah tangga untuk menghubungkan setiap node energi secara lokal tanpa tergantung pada jaringan internet publik. Ketiga, lapisan transaksi digital, yaitu sistem *blockchain* lokal berbasis *Ethereum testnet* atau *Ganache* yang mencatat setiap transaksi energi dalam bentuk *smart contract* dan tokenisasi energi.

Cara kerja sistem ini adalah sebagai berikut. Ketika salah satu rumah (misalnya rumah A) mengalami surplus produksi energi, sistem secara otomatis mendeteksi rumah lain dalam jaringan (misalnya rumah B) yang sedang mengalami defisit. Energi surplus dari rumah A kemudian diarahkan ke rumah B melalui pengaktifan *smart relay* yang terhubung ke jaringan lokal. Transaksi ini kemudian dicatat dalam sistem *blockchain* sebagai perpindahan energi setara 1 token per kWh, yang tercatat di dashboard pengguna. Dashboard ini dirancang agar mudah diakses melalui perangkat seluler dan menampilkan informasi produksi, konsumsi, transaksi, dan saldo token energi masing-masing pengguna secara transparan.

Dalam studi simulasi yang dilakukan di kawasan RW 12 Dusun Cipacing, Jatinangor, sebanyak 20 rumah tangga diasumsikan memiliki instalasi PLTS 1 kWp dengan potensi produksi harian sebesar 3,8-4,2 kWh per rumah (NASA-POWER, 2023). Estimasi produksi kolektif mencapai 76-84 kWh/hari, dengan potensi surplus hingga 20-30 kWh yang dapat didistribusikan kepada rumah tangga lain. Jika skema ini berjalan selama satu bulan penuh, maka penghematan biaya listrik per rumah dapat mencapai Rp90.000-Rp130.000, tergantung pada tingkat konsumsi dan efisiensi distribusi. Selain itu, setiap kWh energi surya yang digunakan menggantikan listrik konvensional dapat menghindarkan emisi karbon sebesar $\pm 0,85$ kg CO₂ (IEA, 2023), sehingga secara kolektif sistem ini dapat mengurangi emisi hingga 600-800 kg CO₂ per bulan.

Keunggulan utama dari sistem SOLARGRID-X tidak hanya terletak pada efisiensi teknis dan ekonominya, tetapi juga pada kemampuannya membentuk ekosistem energi berbasis partisipasi aktif komunitas. Sistem ini memungkinkan warga untuk tidak hanya menjadi konsumen (*consumer*), tetapi juga produsen energi (*prosumer*) dan bahkan pengelola energi (*manager*) dalam lingkup mikro.

Dengan kata lain, SOLARGRID-X membangun sistem energi yang demokratis, inklusif, dan adaptif terhadap kebutuhan lokal. Model ini dapat direplikasi dengan mudah pada komunitas kampus, kompleks perumahan, pesantren mandiri energi, hingga desa wisata digital.

Tantangan implementasi tetap ada, terutama terkait dengan literasi digital warga, kestabilan jaringan komunikasi lokal, dan belum adanya pengakuan hukum terhadap token energi sebagai medium pertukaran resmi. Namun demikian, ketiga tantangan tersebut dapat diantisipasi melalui pelatihan teknologi berbasis komunitas yang melibatkan mahasiswa KKN atau mitra kampus seperti ITB dan UNPAD, penggunaan protokol komunikasi mesh yang dapat beroperasi tanpa internet (misalnya ESP-NOW), serta penyusunan kerangka hukum eksperimental melalui program *sandbox* energi oleh Kementerian ESDM.

Sebagai sebuah model transisi energi komunitas, SOLARGRID-X Jatinangor menawarkan pendekatan baru yang menggabungkan teknologi canggih dengan semangat gotong royong masyarakat. Inovasi ini menjadi bukti bahwa teknologi energi terbarukan tidak harus mahal atau eksklusif, tetapi justru dapat hadir dari komunitas lokal yang saling terhubung dan berdaya. Dengan kolaborasi lintas disiplin, dukungan kebijakan progresif, dan keterlibatan warga secara aktif, Jatinangor dapat menjadi pionir zona energi mandiri berbasis digital pertama di Indonesia.

PENUTUP

SOLARGRID-X Jatinangor merupakan inovasi energi komunitas yang memadukan teknologi digital mutakhir dengan prinsip keadilan sosial berbasis lokal. Melalui integrasi panel surya atap, sensor energi, jaringan komunikasi mesh, dan pencatatan berbasis *blockchain*, program ini menghadirkan sistem distribusi energi yang adil, transparan, dan adaptif terhadap kebutuhan rumah tangga. Inovasi ini tidak hanya merespons tantangan ketimpangan akses energi, tetapi juga mendorong keterlibatan warga secara langsung dalam ekosistem energi berkelanjutan.

Harapan penulis, SOLARGRID-X dapat menjadi titik tolak bagi lahirnya komunitas-komunitas energi baru di Indonesia yang berdaya dan mandiri. Dengan dukungan regulasi progresif, kolaborasi dengan institusi pendidikan dan masyarakat sipil, serta keterlibatan aktif warga, sistem ini diharapkan mampu

direplikasi di berbagai wilayah semi-perkotaan maupun desa wisata digital di tanah air. Inovasi ini membuktikan bahwa transisi energi bersih dapat dimulai dari komunitas kecil yang bersatu, saling terhubung, dan memiliki visi bersama untuk masa depan energi yang lebih adil, lestari, dan berbasis kedaulatan warga.

DAFTAR PUSTAKA

- Esan, O. C., Shi, X., Dai, Y., An, L., & Zhao, T. S. (2022). Operation of liquid e-fuel cells using air as oxidant. *Applied Energy*, 311, 118677.
- IEA. (2022). Solar PV global supply chains. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains> (Licence: CC BY 4.0)
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). Statistik Energi Surya Nasional. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in industry*, 121, 103261.
- Mengelkamp, E., Notheisen, B., Beer, C., Dauer, D., & Weinhardt, C. (2021). A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets. *Computer Science-Research and Development*, 123, 103261.
- NASA POWER. (2023). Surface meteorology and solar energy data set. <https://power.larc.nasa.gov>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2017). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. Lembaran Negara Republik Indonesia.
- Yafi, A. H., Bagaskara, A., Sisdwinugraha, A. P., Hapsari, A., Wijaya, F., Padhilah, F. A., Wismadi, F. S., Bintang, H. M., Surya, I. R. F., Christian, J., Mendrofa, M. J. S., Aji, P., Maswan, P., Wiranegara, R., Sari, R. P., & Firdausi, S. N. (2024). Indonesia Energy Transition Outlook (IETO) 2024: Peaking Indonesia's energy sector emission by 2030: The beginning or the end of energy transition promise. Institute for Essential Services Reform (IESR). <https://iesr.or.id/en/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2024/>
- Zhou, K., Yang, S., & Shao, Z. (2022). Energy internet: the business perspective. *Applied energy*, 118677.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Biodata Penulis



Nama : Fikri Dwi Novianto
Tempat, Tanggal lahir : Bekasi, 05 November 2005
Alamat : Jl. Mangseng 3 RT/RW 001/024,
No.44 Bekasi Utara, Kota Bekasi, Jawa Barat 17125
Asal Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Bandung
Jurusan/Prodi : Meteorologi
Email : fikridnovianto@gmail.com

Lampiran 2. Hasil Cek Plagiarisme Turnitin

ORIGINALITY REPORT			
2%	2%	1%	1%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	investor.id Internet Source	<1 %	
2	banyumasekspres.id Internet Source	<1 %	
3	www.merdekanews.co Internet Source	<1 %	
4	money.kompas.com Internet Source	<1 %	
5	www.msn.com Internet Source	<1 %	
6	sb1milyar.com Internet Source	<1 %	
7	Andri Setia Budi, Jerri Falson. "Carbon Capture Storage dalam Pengelolaan Barang Milik Negara", JURNAL MANAJEMEN KEUANGAN PUBLIK, 2024 Publication	<1 %	
8	Submitted to Universitas Atma Jaya Yogyakarta Student Paper	<1 %	
9	hinoparts.blogspot.com Internet Source	<1 %	
10	mulpix.com Internet Source	<1 %	

Lampiran 3. Konsep SMART

Tabel 1. Konsep SMART Program SOLARGRID-X

SPECIFIC	MEASURABLE
Program SOLARGRID-X secara spesifik ditujukan untuk mengembangkan sistem mikrogrid energi surya komunitas berbasis teknologi IoT (<i>Internet of Things</i>) dan <i>blockchain</i> yang mampu menghubungkan minimal 25 rumah warga di wilayah Jatinangor. Sistem ini memungkinkan setiap rumah tidak hanya menjadi konsumen energi, tetapi juga produsen dan distributor energi melalui skema <i>peer-to-peer energy sharing</i>. Fokus utama terletak pada pemanfaatan atap rumah sebagai sumber PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dan pengembangan dashboard energi warga untuk pemantauan konsumsi dan kontribusi.	Keberhasilan program akan diukur melalui indikator-indikator kuantitatif dan kualitatif berikut: 1) Efisiensi pengeluaran energi listrik warga minimal sebesar 30% dalam kurun waktu 12 bulan; 2) Penurunan emisi karbon per rumah tangga sebesar 25-40% dibandingkan <i>baseline</i>; 3) Jumlah warga aktif yang menggunakan dan mengelola dashboard energi komunitas (>80% dari partisipan); 4) Jumlah transaksi energi antar rumah dalam sistem <i>blockchain</i> mencapai >1.000 transaksi dalam 1 tahun; dan 5) Kenaikan literasi energi dan tingkat kepuasan pengguna berdasarkan survei minimal sebesar 4 dari skala 5.
ACHIEVABLE	RELEVANT
Program dirancang untuk realistis dicapai karena menggunakan teknologi yang telah terbukti, seperti sensor energi LoRa/ESP32, panel surya berdaya rendah dengan efisiensi tinggi, serta sistem <i>blockchain</i> ringan untuk pencatatan transaksi energi. Dukungan tersedia dari komunitas akademik ITB, kelompok warga Jatinangor, dan adanya potensi kemitraan CSR dari BUMN/Swasta dalam pengadaan alat. Selain itu, ekosistem kampus dan teknologi lokal memudahkan transfer pengetahuan dan pendampingan teknis langsung.	Tujuan program sangat relevan terhadap tantangan nasional dan global. Di tingkat nasional, sejalan dengan target RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) untuk mencapai 23% energi terbarukan pada 2025, serta agenda digitalisasi desa/komunitas melalui program <i>Smart Village</i> dan Kampus Hijau. Secara global, program mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) khususnya SDG 7 (Energi Bersih dan Terjangkau), SDG 11 (Komunitas Berkelanjutan), dan SDG 13 (Aksi Iklim). SOLARGRID-X juga relevan secara sosial karena mendorong keadilan distribusi energi dan pemberdayaan warga lokal.
TIME BOUND	
Rentang waktu pelaksanaan program diproyeksikan berlangsung dalam kurun ± 12 bulan ke depan, terbagi dalam tahapan berikut: (1) Perencanaan & edukasi awal komunitas (± 2 bulan), (2) Instalasi & integrasi teknologi (± 3 bulan), (3) Simulasi operasional & evaluasi sistem awal (± 4 bulan), dan (4) Pemantauan hasil & penyusunan replikasi (± 3 bulan). Jadwal ini bersifat estimatif dan dapat disesuaikan dengan dinamika pendanaan, kesiapan komunitas, dan respons awal.	

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 4. Analisis SWOT

Tabel 2. Analisis SWOT Program SOLARGRID-X

STRENGTHS	WEAKNESSES
- Menggunakan energi surya yang bersih, terbarukan, dan tersedia melimpah di Jatinangor. - Sistem terdesentralisasi berbasis komunitas yang mendorong kemandirian energi lokal. - Integrasi teknologi IoT dan blockchain menciptakan sistem distribusi energi yang transparan dan otomatis. - Potensi dukungan dari komunitas kampus dan lembaga pendidikan sebagai basis edukasi dan inovasi.	- Biaya awal instalasi panel surya dan perangkat IoT masih relatif tinggi bagi sebagian warga. - Ketergantungan pada infrastruktur digital (internet & listrik stabil) yang belum merata. - Risiko kurangnya literasi digital dan energi di kalangan warga umum.
OPPORTUNITIES	THREATS
- Dukungan kuat dari kebijakan pemerintah terhadap EBT dan transformasi digital desa (<i>Smart Village</i>). - Potensi replikasi luas di wilayah semi-perkotaan dan kampus lainnya. - Ketersediaan skema CSR, inkubasi inovasi kampus, dan insentif teknologi dari pemerintah.	- Resistensi dari lembaga energi konvensional atau monopoli infrastruktur. - Ancaman siber dan kerentanan sistem <i>blockchain</i> jika tidak dikelola dengan baik. - Fluktuasi iklim ekstrem dapat memengaruhi stabilitas pasokan energi surya.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 5. Matriks TOWS

Tabel 3. Matriks TOWS Program SOLARGRID-X

	Opportunities	Threats
Strengths	SO - Menggunakan kekuatan transparansi sistem dan partisipasi warga untuk mempercepat penerimaan program pemerintah dan CSR. - Mempromosikan SOLARGRID-X sebagai model percontohan nasional dalam forum transisi energi kampus dan desa digital.	ST - Mengembangkan sistem keamanan siber berbasis <i>blockchain</i> yang terenkripsi dengan dukungan akademisi. - Mengintegrasikan sistem prediksi cuaca dan penyimpanan baterai untuk mengantisipasi ketergantungan cuaca.
Weaknesses	WO - Menggandeng mitra strategis dari sektor swasta, CSR, dan institusi pendidikan untuk membiayai infrastruktur awal. - Menyediakan modul pelatihan literasi energi digital berbasis warga dengan dukungan kampus.	WT - Melaksanakan program edukasi literasi energi berbasis komunitas untuk meningkatkan pemahaman dan adaptabilitas. - Membangun kemitraan dengan regulator energi untuk menghindari konflik struktural atau hukum.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 6. PESTEL Analysis

Tabel 4. PESTEL Analysis Program SOLARGRID-X

Faktor	Penjelasan
<i>Political</i>	Pemerintah Indonesia menunjukkan komitmen nyata dalam mempercepat transisi menuju energi bersih melalui berbagai kebijakan strategis, seperti Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan, serta target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada 2025 sesuai Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Selain itu, program <i>Smart Village</i> dan Desa Cerdas Energi yang digaungkan pemerintah pusat membuka peluang adopsi mikrogrid di wilayah semi-perkotaan seperti Jatinangor. Dukungan ini memberikan kepastian regulasi dan ruang eksperimentasi bagi pengembangan prototipe komunitas energi seperti SOLARGRID-X.
<i>Economic</i>	Program SOLARGRID-X mampu memberikan dampak ekonomi langsung dan tidak langsung bagi warga Jatinangor. Penghematan biaya listrik rumah tangga melalui skema pemanfaatan panel surya atap dan distribusi energi lokal diperkirakan mencapai $\pm 30\%$. Selain itu, terbuka peluang ekonomi baru dari jasa instalasi, pemeliharaan perangkat, pelatihan teknisi komunitas, hingga integrasi sistem tokenisasi energi yang dapat mendorong perputaran ekonomi lokal. Potensi dukungan dari pendanaan CSR, hibah inovasi, serta kolaborasi dengan mitra strategis menjadikan skema ini layak dikembangkan secara inklusif.
<i>Social</i>	Komunitas Jatinangor terdiri dari spektrum sosial yang unik, mencakup mahasiswa, akademisi, pelaku UMKM, dan warga lokal, sehingga menjadi ekosistem sosial yang adaptif terhadap inovasi. Kuatnya budaya gotong royong menjadi modal sosial yang mendukung keberhasilan program berbasis kolaborasi seperti SOLARGRID-X. Namun, keberagaman literasi teknologi di antara warga juga menjadi tantangan yang harus dijawab melalui pendekatan edukatif dan partisipatif yang inklusif serta kontekstual.
<i>Technological</i>	Pemanfaatan teknologi sensor IoT (seperti LoRa/ESP32), panel surya berkapasitas rendah, sistem mesh komunikasi, dan pencatatan energi berbasis blockchain menjadikan SOLARGRID-X sebagai sistem yang tangguh, hemat biaya, dan transparan. Teknologi ini memungkinkan pemantauan real-time konsumsi dan produksi energi, serta distribusi otomatis antar rumah tangga. Meski demikian, aspek pengamanan digital dan ketersediaan perangkat lokal masih perlu diperkuat melalui dukungan teknis dari institusi pendidikan dan pelatihan warga.
<i>Environmental</i>	Dengan mengalihkan konsumsi listrik dari sumber fosil ke energi surya, SOLARGRID-X secara langsung menurunkan emisi karbon per rumah tangga serta memperpanjang umur infrastruktur jaringan konvensional. Sistem ini juga memanfaatkan ruang atap bangunan, sehingga tidak membutuhkan pembukaan lahan baru. Potensi limbah elektronik dari sensor dan panel surya dapat diminimalkan dengan skema daur ulang lokal dan manajemen perangkat usang yang terstandarisasi. Hal ini sejalan dengan prinsip circular economy dan pengelolaan limbah berbasis komunitas.
<i>Legal</i>	Meskipun penggunaan PLTS atap untuk rumah tangga telah diakomodasi dalam regulasi nasional, sistem distribusi energi komunitas antar rumah tangga seperti SOLARGRID-X masih berada di area abu-abu secara hukum. Belum adanya regulasi spesifik tentang mikrogrid komunitas dan transaksi energi berbasis blockchain menjadi tantangan yang perlu

	diantisipasi melalui pendekatan kolaboratif dengan pemerintah dan lembaga hukum. Program ini juga harus memperhatikan aspek perlindungan data pribadi dan hak kepemilikan energi warga agar tidak melanggar batas regulasi yang ada.
--	--

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 7. Stakeholder Analysis

Tabel 5. Stakeholder Analysis Program SOLARGRID-X

Kategori Stakeholder	Peran dan Kepentingan
Warga Jatinangor (User)	Sebagai pengguna akhir dan kontributor energi, warga memiliki peran sentral dalam menjaga keberlanjutan sistem. Kepentingan utama mereka terletak pada efisiensi biaya energi, kemudahan penggunaan teknologi, dan kejelasan skema distribusi energi antar rumah. Tingkat literasi energi dan keterbukaan terhadap teknologi baru akan menentukan keberhasilan adopsi sistem. Dukungan aktif warga akan memperkuat aspek sosial dan mempercepat efisiensi kolektif program.
Mahasiswa dan Akademisi	Mahasiswa dan dosen dari institusi pendidikan di Jatinangor, seperti ITB Kampus Jatinangor, memiliki potensi besar sebagai inisiator, pengembang teknologi, sekaligus fasilitator literasi energi komunitas. Kepentingan mereka adalah pada aspek penelitian, pengembangan model replikasi, serta peningkatan dampak sosial dari program. Keterlibatan mereka juga memperkuat aspek edukasi, monitoring, dan validasi ilmiah terhadap inovasi yang dikembangkan.
Pemerintah Daerah (Pemda Sumedang & Desa/Kelurahan)	Pemda memiliki wewenang untuk mendukung regulasi lokal, alokasi dana desa, hingga penyuluhan warga terkait energi baru terbarukan. Kepentingannya mencakup peningkatan kesejahteraan masyarakat, pencapaian target energi berkelanjutan daerah, serta model pengembangan desa digital. Kolaborasi dengan pemda juga membuka peluang untuk replikasi skema di wilayah lain.
PLN dan Regulator Energi (ESDM)	Sebagai pemegang infrastruktur energi nasional, PLN dan regulator energi memiliki kepentingan dalam menjaga kestabilan sistem distribusi dan memastikan legalitas transaksi energi. Meskipun dapat menjadi tantangan karena potensi konflik model bisnis, keterlibatan sejak awal dapat mengarah pada sinkronisasi kebijakan mikrogrid dan integrasi skema net metering atau insentif bagi produsen energi komunitas.
Mitra Teknologi dan CSR	Perusahaan penyedia panel surya, sensor IoT, dan sistem blockchain memiliki peran sebagai penyedia teknologi inti. Mereka berkepentingan dalam uji coba produk, promosi teknologi, dan perluasan pasar. Skema CSR (<i>Corporate Social Responsibility</i>) dari perusahaan energi, telekomunikasi, dan digital juga berpotensi besar untuk mendukung pembiayaan awal proyek serta memperkuat hubungan dengan komunitas lokal.
Organisasi Masyarakat Sipil (NGO/LSM)	Lembaga non-pemerintah yang bergerak di bidang lingkungan, energi, dan pemberdayaan masyarakat dapat berperan dalam

	penguatan kapasitas warga, advokasi regulasi mikrogrid, serta pengawasan dampak sosial program. Kepentingan mereka terletak pada transparansi, akuntabilitas, dan keadilan sosial dalam transisi energi. Kolaborasi dengan LSM juga meningkatkan kredibilitas proyek di mata publik.
--	--

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 8. Logframe Analysis

Tabel 6. Logframe Analysis Program SOLARGRID-X

Komponen	Penjelasan
<i>Impact</i>	Mewujudkan komunitas energi mandiri yang berkelanjutan di kawasan semi-perkotaan seperti Jatinangor melalui integrasi teknologi energi surya, IoT, dan <i>blockchain</i> . Tujuan ini sejalan dengan visi nasional untuk mencapai transisi energi rendah karbon serta mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya poin ke-7 (Energi Bersih dan Terjangkau), ke-11 (Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan), dan ke-13 (Penanganan Perubahan Iklim). Dengan kemandirian energi lokal, ketahanan masyarakat terhadap fluktuasi harga listrik dan potensi pemadaman sistemik dapat ditingkatkan.
<i>Outcome</i>	Terciptanya sistem mikrogrid komunitas berbasis panel surya dan jaringan digital yang dapat mendistribusikan energi antar rumah tangga secara otomatis dan transparan. Outcome mencakup terbentuknya rumah-rumah prosumen (produsen-konsumen energi), peningkatan literasi energi warga, serta terciptanya ekosistem partisipatif dalam pengelolaan dan pemanfaatan energi bersih secara kolektif. Warga dapat mengakses informasi konsumsi-produksi energi mereka melalui dashboard dan melakukan distribusi energi secara <i>peer-to-peer</i> berbasis data <i>real-time</i> .
<i>Output</i>	1) Terpasangnya 25 unit panel surya dan <i>smart meter</i> di rumah warga partisipan. 2) Tersedianya dashboard digital untuk monitoring energi. 3) Terselenggaranya minimal 3 sesi pelatihan energi komunitas berbasis digital. 4) Tersusunnya dokumen SOP operasional sistem distribusi energi komunitas. 5) Terbentuknya kemitraan dengan dua lembaga pendukung: institusi akademik dan mitra teknologi/CSR.
<i>Activities</i>	1) Survei dan pemetaan rumah tangga di Jatinangor sebagai lokasi uji coba. 2) Instalasi perangkat keras: panel surya, sensor LoRa, gateway blockchain. 3) Pengembangan sistem dashboard digital untuk warga. 4) Pelatihan teknis dan literasi energi untuk warga dan mahasiswa. 5) Uji coba sistem distribusi selama 3 bulan. 6) Monitoring dan evaluasi berkala.
<i>Inputs</i>	Dana hibah atau CSR untuk pengadaan alat dan pelatihan warga, tim teknis dari mahasiswa/dosen kampus sekitar Jatinangor, mitra teknologi (vendor panel surya, IoT, blockchain), perangkat lunak pendukung (dashboard & monitoring), serta dukungan kelembagaan dari pemerintah desa dan tokoh masyarakat. Ketersediaan tenaga fasilitator komunitas akan menjadi kunci penting dalam keberhasilan adaptasi teknologi oleh warga.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 9. Analisis Risiko & Mitigasi

Tabel 7. Analisis Risiko & Mitigasi Program SOLARGRID-X

Risiko Potensial	Strategi Mitigasi
Kurangnya literasi energi dan teknologi digital di kalangan warga	Menyelenggarakan pelatihan partisipatif yang disesuaikan dengan konteks sosial warga Jatinangor, menggunakan pendekatan visual dan praktik langsung. Didukung oleh mahasiswa dan dosen sebagai fasilitator. Selain itu, penyediaan panduan bergambar dan video tutorial sederhana dapat mempercepat proses adaptasi teknologi baru.
Biaya awal pemasangan perangkat yang tinggi	Menggandeng mitra CSR, institusi pendidikan, dan skema pendanaan kolaboratif untuk subsidi silang atau pembiayaan tahap awal. Program juga dapat menerapkan skema <i>pay-as-you-save</i> berbasis komunitas untuk cicilan ringan jangka menengah.
Kendala konektivitas jaringan mesh atau sensor LoRa	Menggunakan sistem <i>fallback</i> otomatis berbasis penyimpanan lokal data (<i>local buffer</i>) dan melakukan pemetaan titik sinyal optimal sebelum instalasi. Selain itu, penggunaan relay tambahan atau penguat sinyal dapat disiapkan untuk wilayah yang mengalami gangguan sinyal.
Tantangan keamanan data dan potensi peretasan sistem blockchain ringan	Menerapkan sistem autentikasi ganda (<i>two-factor authentication</i>), serta enkripsi <i>end-to-end</i> untuk setiap node energi. Audit keamanan dilakukan secara berkala dan log aktivitas dicatat dalam sistem pemantauan terdesentralisasi.
Resistensi dari lembaga energi konvensional atau hambatan regulasi mikrogrid	Melakukan advokasi kebijakan melalui lembaga riset dan perguruan tinggi untuk mendukung legalisasi mikrogrid komunitas. Selain itu, kolaborasi strategis sejak awal dengan PLN dan pemda diupayakan guna menciptakan ruang integrasi sistem ke dalam kerangka kebijakan yang ada.
Limbah elektronik dari sensor dan perangkat surya di masa depan	Menyusun skema daur ulang perangkat elektronik dan kerjasama dengan LSM lingkungan atau bank sampah digital. Perangkat dirancang modular agar mudah diperbaiki dan diperbarui secara parsial, mengurangi kebutuhan penggantian total.
Ketergantungan terhadap mitra teknologi luar atau vendor tertentu	Menggunakan sistem terbuka (<i>open-source platform</i>) yang dapat dikembangkan oleh komunitas dan kampus lokal. Sumber perangkat keras diprioritaskan dari vendor dalam negeri agar ketersediaan suku cadang dan layanan purna jual lebih terjamin.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 10. Skenario Planning

Tabel 8. Skenario Planning Program SOLARGRID-X

Skenario	Deskripsi dan Implikasi
Skenario Optimistik	Program SOLARGRID-X berhasil diimplementasikan di 25 rumah warga Jatinangor dengan tingkat partisipasi mencapai lebih dari 90%. Teknologi dapat diterima dengan baik, literasi energi masyarakat meningkat pesat melalui pelatihan berkelanjutan, dan sistem <i>blockchain</i> -IoT berfungsi stabil tanpa gangguan. Dukungan dari perguruan tinggi dan mitra CSR terus mengalir, serta

	pemda memberikan pengakuan formal terhadap sistem mikrogrid ini. Dalam waktu dua tahun, program diperluas ke desa-desa digital lain di Sumedang dan dijadikan model nasional oleh Kementerian ESDM.
Skenario Moderat (Kemungkinan Realistis)	Implementasi program berlangsung sesuai rencana meski dengan beberapa hambatan teknis awal seperti gangguan koneksi LoRa dan adaptasi warga terhadap penggunaan dashboard digital. Pelatihan warga membutuhkan waktu lebih lama dari perkiraan. Sebagian warga bersedia menjadi prosumen, namun belum semua rumah aktif mendistribusikan energi. PLN lokal masih dalam tahap diskusi untuk integrasi sistem, namun dukungan akademik dan pemda membuat proyek tetap berjalan. Program mampu bertahan dan menunjukkan hasil penghematan energi yang signifikan dalam 1 tahun.
Skenario Pesimistis	Resistensi warga terhadap teknologi baru tinggi karena rendahnya pemahaman digital dan ketakutan akan kerumitan sistem <i>blockchain</i> . PLN menolak integrasi sistem mikrogrid lokal karena alasan keamanan dan regulasi. Perangkat IoT mengalami gangguan teknis terus-menerus akibat cuaca atau gangguan sinyal, sementara dana dari mitra eksternal tidak berkelanjutan. Program terhenti setelah uji coba awal dan hanya digunakan secara pasif oleh segelintir rumah untuk konsumsi pribadi. Potensi perluasan dan replikasi tidak dapat direalisasikan tanpa restrukturisasi menyeluruh.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 11. Hierarki Kebutuhan Maslow dalam Konteks SOLARGRID-X

Tabel 9. Integrasi SOLARGRID-X dalam Hierarki Maslow

Tingkat Kebutuhan (Maslow)	Relevansi dan Implementasi dalam Program
Kebutuhan Fisiologis (<i>Physiological Needs</i>)	Akses terhadap energi listrik merupakan bagian dari kebutuhan dasar masyarakat modern, karena mendukung pencahayaan, penyimpanan makanan (kulkas), air bersih (pompa), dan komunikasi. Program SOLARGRID-X menjamin pasokan energi mandiri dari panel surya rumah tangga sehingga memenuhi aspek ini secara langsung dan konkret.
Kebutuhan Keamanan (<i>Safety Needs</i>)	Melalui sistem distribusi energi berbasis blockchain dan sensor IoT, program ini menyediakan transparansi, ketahanan, dan prediktabilitas terhadap pasokan listrik. Keamanan digital ditingkatkan melalui enkripsi data, sementara keamanan fisik warga ditopang oleh stabilitas energi tanpa ketergantungan pada jaringan konvensional yang rentan gangguan.
Kebutuhan Sosial (<i>Belongingness and Love Needs</i>)	Program ini mendorong kolaborasi antarwarga melalui mekanisme berbagi energi (<i>peer-to-peer</i>), pelatihan bersama, dan partisipasi aktif dalam sistem komunitas. Terbentuknya hubungan sosial baru antara rumah tangga produsen dan konsumen menciptakan rasa kebersamaan dan memperkuat kohesi sosial di lingkungan tersebut.
Kebutuhan Penghargaan (<i>Esteem Needs</i>)	Warga yang berpartisipasi aktif dalam sistem energi komunitas akan memperoleh pengakuan sosial sebagai pelopor energi bersih. Partisipasi dalam proyek ini memberi mereka rasa memiliki, kepercayaan diri, dan posisi strategis sebagai bagian dari transformasi digital dan ekologi yang prestisius di tingkat lokal.
Kebutuhan Aktualisasi	Melalui keterlibatan dalam pengelolaan sistem energi mandiri dan

Diri (<i>Self-Actualization</i>)	berkelanjutan, warga dapat mewujudkan potensi diri dalam bidang inovasi, kepemimpinan komunitas, dan kesadaran lingkungan. Mereka tidak hanya menjadi pengguna, tetapi juga menjadi pengelola dan pencipta solusi energi baru bagi komunitas mereka sendiri.
------------------------------------	--

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 12. Kano Model

Tabel 10. Tabel Kano Model SOLARGRID-X

Kategori Kano	Penerapan dalam SOLARGRID-X
<i>Basic Needs</i> (Kebutuhan Dasar)	Ketersediaan pasokan energi yang stabil, aman, dan bebas gangguan menjadi kebutuhan mendasar warga. Jika aspek ini tidak terpenuhi, warga akan kecewa dan kehilangan kepercayaan terhadap sistem. Maka, keandalan panel surya, koneksi sensor LoRa, dan dashboard energi harus dijaga optimal setiap waktu.
<i>Performance Needs</i> (Kebutuhan Kinerja)	Semakin tinggi efisiensi sistem (misalnya besarnya penghematan biaya listrik, akurasi pembacaan energi, atau kecepatan pembagian daya antar rumah), maka semakin tinggi pula kepuasan warga. Kinerja ini berkorelasi langsung dengan seberapa baik sistem dioperasikan dan dikembangkan.
<i>Excitement Needs</i> (Kebutuhan Kegembiraan)	Fitur-fitur seperti tampilan grafik konsumsi-produksi yang estetik, pencapaian skor energi hijau warga, sistem insentif berbasis token komunitas, atau dashboard yang dapat dikustomisasi adalah elemen tambahan yang tidak diharapkan warga, namun mampu meningkatkan kepuasan dan keterlibatan pengguna secara signifikan saat disediakan.
<i>Indifferent Needs</i> (Tidak Berpengaruh)	Penggunaan teknologi canggih seperti istilah “ <i>blockchain</i> ” atau “ <i>mesh LoRa</i> ” secara teknis mungkin menarik bagi developer, tetapi sebagian warga mungkin tidak terlalu peduli asalkan sistemnya berfungsi baik. Maka, aspek branding teknologi perlu disesuaikan agar tidak berlebihan dan tetap membumi.
<i>Reverse Needs</i> (Kebutuhan Terbalik)	Bagi sebagian warga yang kurang paham digital, kompleksitas fitur canggih justru bisa menurunkan kenyamanan. Oleh karena itu, perlu penyederhanaan antarmuka dan pemberian opsi mode sederhana (<i>simplified mode</i>) dalam dashboard agar warga tidak merasa terbebani oleh teknologi.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 13. VRIO Analysis

Tabel 11. VRIO Analysis SOLARGRID-X

Dimensi	Analisis dalam Konteks Program
<i>Value</i>	Program SOLARGRID-X menawarkan solusi terhadap tantangan aktual berupa ketergantungan energi fosil, ketimpangan distribusi listrik, dan keterbatasan jaringan sentralistik. Sistem ini memberikan nilai ekonomi melalui penghematan biaya listrik, serta nilai sosial melalui partisipasi warga dalam pengelolaan energi mandiri. Nilai lingkungan tercermin dari kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon dan peningkatan energi bersih.
<i>Rarity</i>	Kombinasi teknologi panel surya, jaringan sensor IoT, dan pencatatan berbasis <i>blockchain</i> dalam skala komunitas masih sangat jarang diterapkan di Indonesia, khususnya di kawasan semi-perkotaan seperti Jatinangor. Pendekatan desentralisasi berbasis komunitas ini menjadi kekuatan unik yang belum dimiliki oleh mayoritas sistem energi nasional.
<i>Imitability</i>	Meskipun komponen teknologinya bersifat modular dan tersedia di pasaran, keberhasilan SOLARGRID-X sangat bergantung pada pendekatan sosial-kultural, desain sistem adaptif, serta kemampuan membangun ekosistem kolaboratif warga. Kombinasi teknis dan sosial ini sulit ditiru secara cepat tanpa pemahaman lokal yang mendalam dan tim pelaksana yang berpengalaman.
<i>Organization</i>	Program ini dirancang dengan sistem tata kelola yang kolaboratif dan inklusif, melibatkan warga, mahasiswa, pemerintah lokal, dan mitra strategis. Struktur operasional berbasis SOP, sistem pelatihan, serta integrasi dashboard digital menunjukkan bahwa sumber daya telah terorganisasi dengan baik untuk mendukung keberlanjutan program jangka panjang.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 14. Environmental Impact Matrix

Tabel 12. Environmental Impact Matrix SOLARGRID-X

Tahap Siklus Hidup (LCA)	Dampak Lingkungan dan Mitigasi
Pengadaan Bahan dan Produksi Perangkat	Pembuatan panel surya, sensor IoT, dan komponen <i>blockchain</i> melibatkan jejak karbon dari proses industri, logistik, serta penggunaan logam tanah jarang dan plastik elektronik. Dampaknya termasuk emisi CO ₂ dan konsumsi energi tinggi. Mitigasi dilakukan dengan memilih produsen bersertifikat ISO 14001, serta memprioritaskan vendor lokal untuk menekan emisi transportasi.
Transportasi dan Distribusi ke Lokasi	Pengiriman perangkat ke Jatinangor berpotensi menambah emisi kendaraan, terutama dari logistik antarkota. Namun karena skala program bersifat lokal (25 rumah), dampaknya minimal dan dapat dikurangi melalui sistem logistik terintegrasi satu kali antar.

Instalasi dan Pemasangan Sistem	Aktivitas ini tidak menimbulkan emisi signifikan karena tidak membutuhkan konstruksi berat. Instalasi dilakukan secara manual dengan bor listrik dan tenaga manusia. Risiko limbah plastik kemasan diatasi dengan pengumpulan terpusat dan integrasi ke bank sampah lokal.
Fase Operasional Sistem (≥5 Tahun)	Pada masa operasional, sistem menghasilkan energi bersih tanpa emisi karbon langsung. Sistem PLTS + IoT ini berkontribusi langsung dalam menurunkan konsumsi energi fosil rumah tangga. Selain itu, monitoring <i>real-time</i> mendorong efisiensi konsumsi listrik warga. Dampak negatif seperti radiasi elektromagnetik sangat rendah dan masih dalam batas aman WHO.
Pemeliharaan dan Penggantian Komponen	Beberapa komponen seperti sensor atau baterai cadangan perlu diganti setiap 3-5 tahun. Jika tidak dikelola, limbah elektronik bisa menjadi masalah. Oleh karena itu, disiapkan SOP daur ulang dan kerja sama dengan komunitas <i>e-waste</i> untuk pengumpulan dan pengolahan modul rusak.
Akhir Masa Pakai (<i>Decommissioning</i>)	Setelah masa guna (10–20 tahun), seluruh sistem akan didokumentasikan dan dilepas sesuai prosedur. Panel surya yang sudah tidak optimal akan didaur ulang melalui skema kerja sama dengan mitra industri, sementara komponen elektronik dibongkar untuk diproses sebagai limbah B3 melalui jalur resmi. Edukasi warga mengenai <i>end-of-life responsibility</i> juga menjadi bagian dari program.

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 15. Technology Readiness Level (TRL) dan Innovation Readiness Level (IRL)

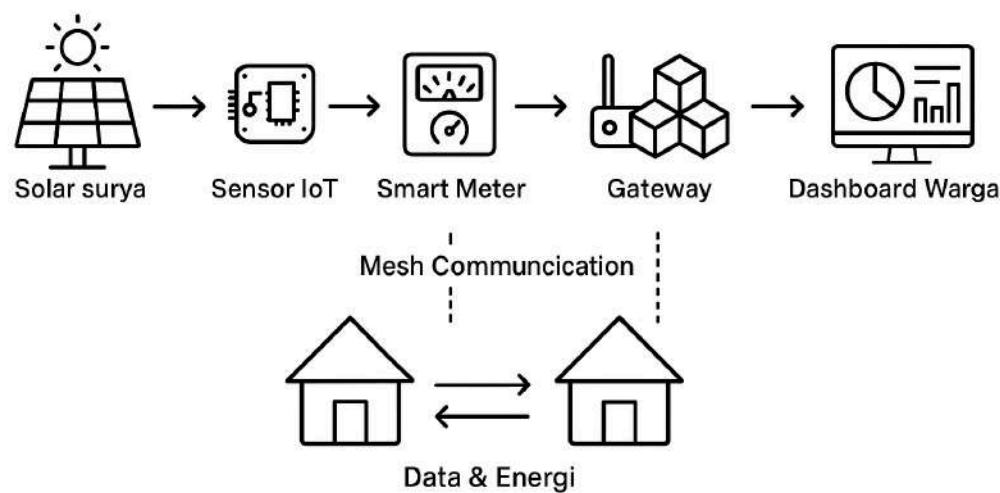
Tabel 13. TRL dan IRL SOLARGRID-X

Level	Deskripsi Umum
<i>Technology Readiness Level (TRL)</i>	Berdasarkan klasifikasi standar TRL dari 1 hingga 9, sistem SOLARGRID-X saat ini berada pada TRL 6-7. Komponen utamanya panel surya, sensor LoRa, smart meter, dan pencatatan blockchain telah melalui tahap validasi laboratorium (TRL 5), dan kini tengah disiapkan untuk pengujian dalam skala komunitas nyata di lingkungan Jatinangor (TRL 6). Sistem sudah dirancang sebagai prototipe fungsional dengan integrasi digital penuh dan siap diuji coba di 25 rumah tangga. Infrastruktur monitoring dan dashboard juga telah tersedia, meskipun masih perlu optimalisasi performa di kondisi nyata dan dinamis.
<i>Innovation Readiness Level (IRL)</i>	Dari skala IRL 1-9, SOLARGRID-X dikategorikan pada IRL 5-6, yakni inovasi telah berada pada tahap pilot dengan struktur implementasi awal di lingkungan komunitas. Komponen sosial seperti pelatihan warga, kemitraan kampus masyarakat, dan dukungan pemda telah dibangun dan menunjukkan

	tanda penerimaan positif. Proses legalisasi mikrogrid dan negosiasi dengan pemangku kepentingan energi juga sedang berlangsung. IRL akan meningkat seiring hasil uji coba, dokumentasi SOP, dan keberhasilan sistem berjalan secara mandiri oleh warga. Harapannya, dalam 1 tahun setelah uji coba, program dapat mencapai IRL 7-8 dengan dukungan replikasi lintas wilayah.
--	---

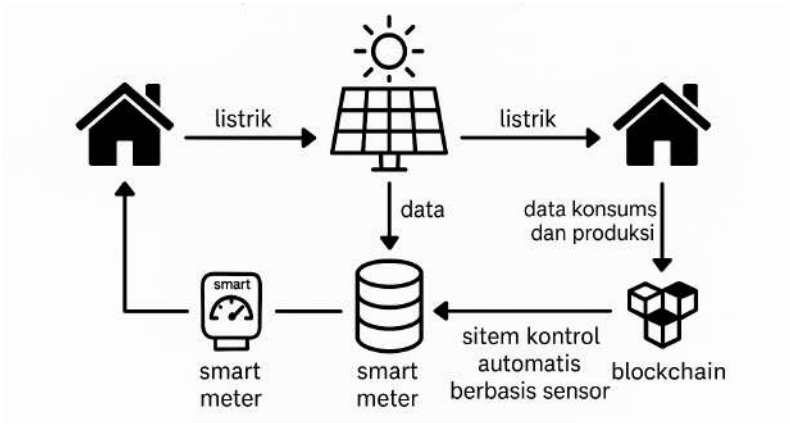
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 16. Skema Arsitektur Sistem Energi Komunitas SOLARGRID-X



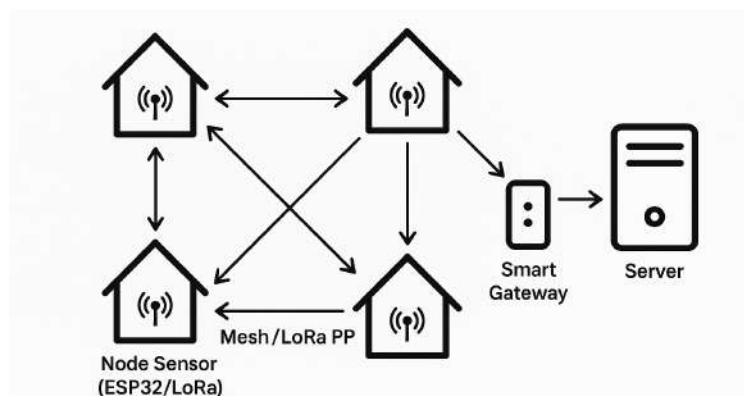
Gambar 1. Diagram Arsitektur Sistem Energi Komunitas SOLARGRID-X
 Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 17. Skema Jalur Aliran Energi dan Informasi SOLARGRID-X



Gambar 2. Skema Jalur Aliran Energi dan Informasi (Energy & Data Flow)
 Sumber: Dokumen Penulis, 2025

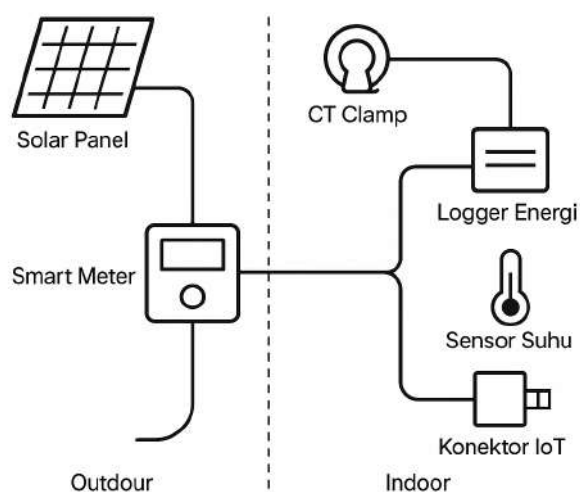
Lampiran 18. Skema Komunikasi Antar Sensor & Gateway SOLARGRID-X



Gambar 3. Diagram Komunikasi Antar Sensor & Gateway (*Sensor Mesh Communication*)

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

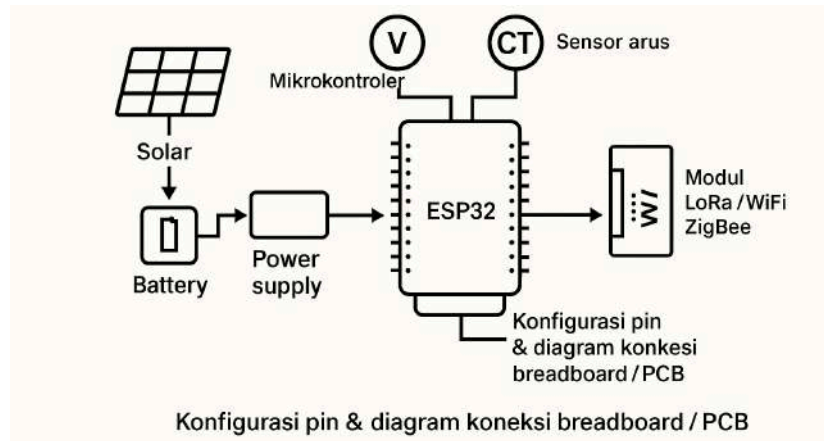
Lampiran 19. Skema Penyusunan Modul Sensor SOLARGRID-X



Gambar 4. Skema Penyusunan Modul Sensor di Rumah Warga (*Device Assembly Layout*)

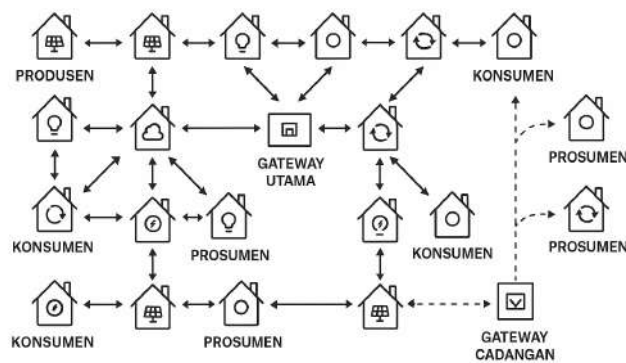
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 20. Skema Node Sensor Energi SOLARGRID-X



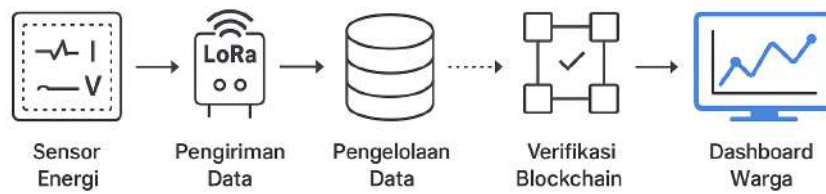
Gambar 5. Skema Node Sensor Energi (Node Fisik dan Rangkaian Mikro)
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 21. Skema Deployment Sistem per Rumah & Antar Rumah SOLARGRID-X



Gambar 6. Skema Deployment Sistem per Rumah & Antar Rumah (*Deployment Grid Plan*)
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

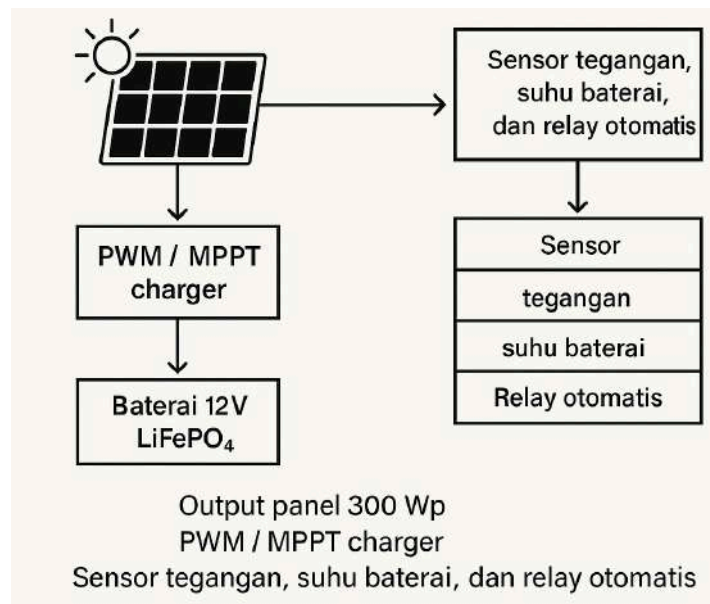
Lampiran 22. Skema Alur Pengolahan Data Energi SOLARGRID-X



Gambar 7. Diagram Alur Pengolahan Data Energi

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 23. Skema Panel Surya + Baterai + Sensor SOLARGRID-X



Gambar 8. Skema Panel Surya + Baterai + Sensor (Mini PLTS Node)

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 24. Mockup Tampilan Dashboard Warga SOLARGRID-X



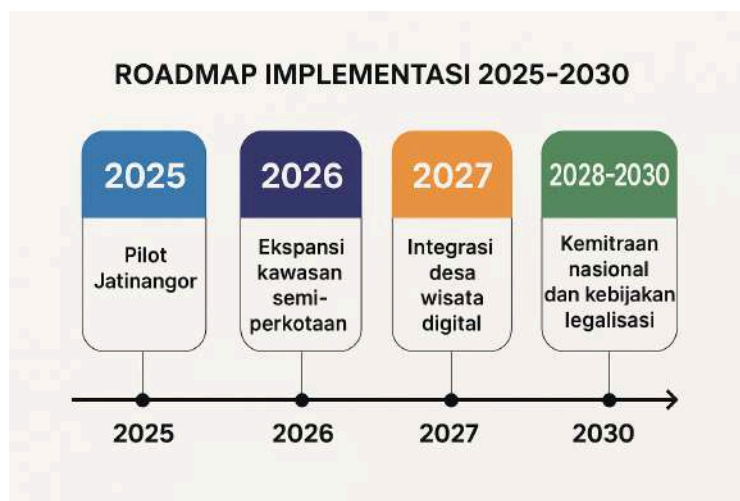
Gambar 9. Mockup Tampilan Dashboard Warga (User Interface)
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 25. Mockup Tampilan Dashboard Warga SOLARGRID-X



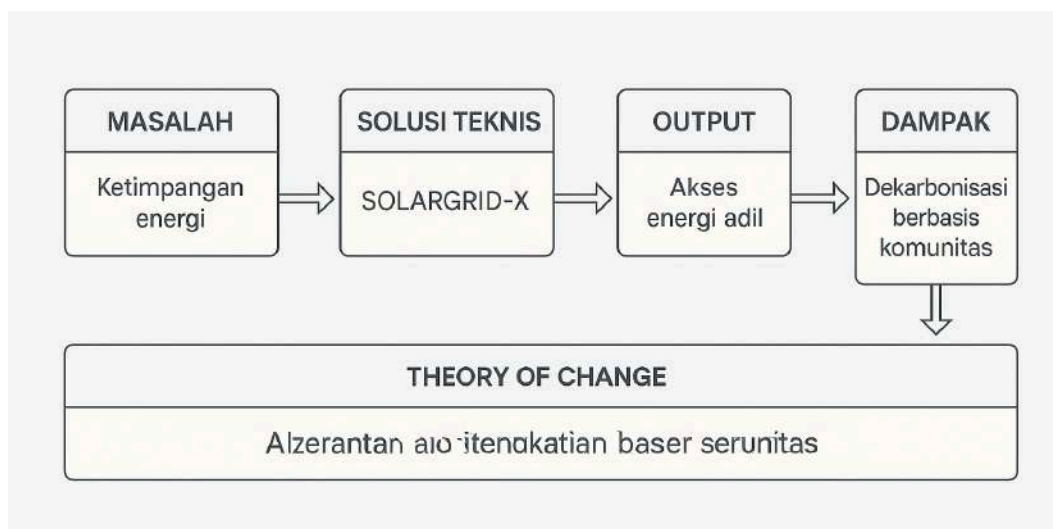
Gambar 10. Mockup Tampilan Dashboard Warga (User Interface)
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 26. Roadmap Implementasi 2025-2030



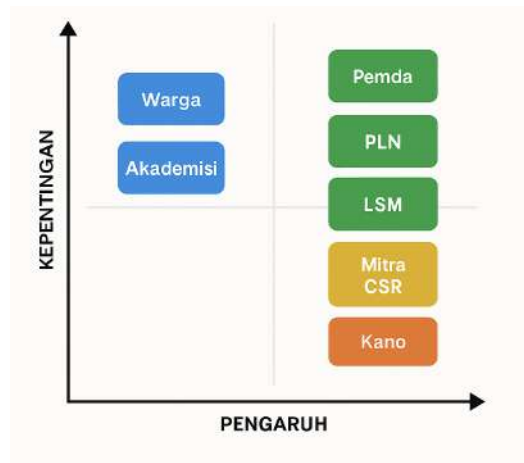
Gambar 11. Roadmap Implementasi SOLARGRID-X
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 27. Skema Logika Program



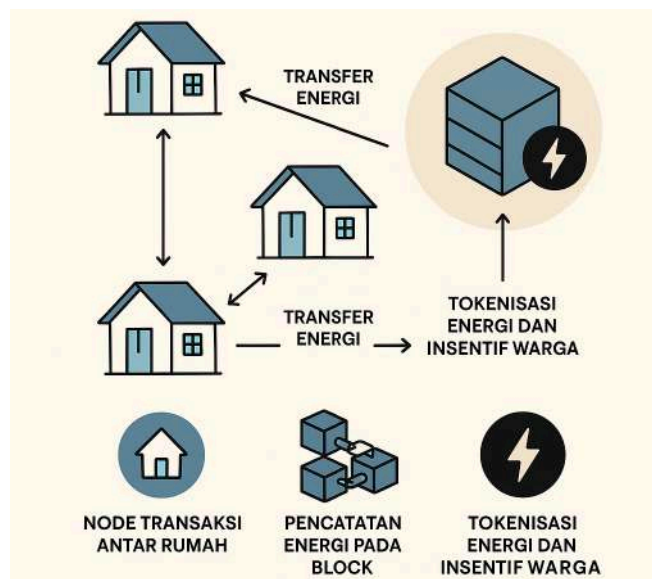
Gambar 12. Skema Logika Program SOLARGRID-X
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 28. Diagram Stakeholder Mapping SOLARGRID-X



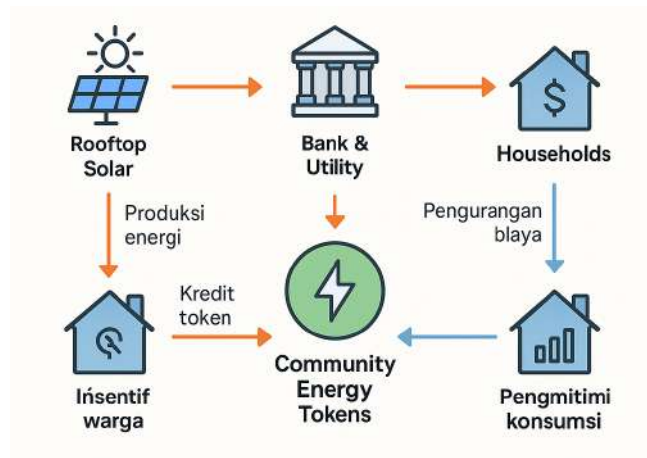
Gambar 13. Diagram Stakeholder Mapping (Pengaruh vs Kepentingan)
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 29. Skema Integrasi Blockchain untuk Energi Lokal



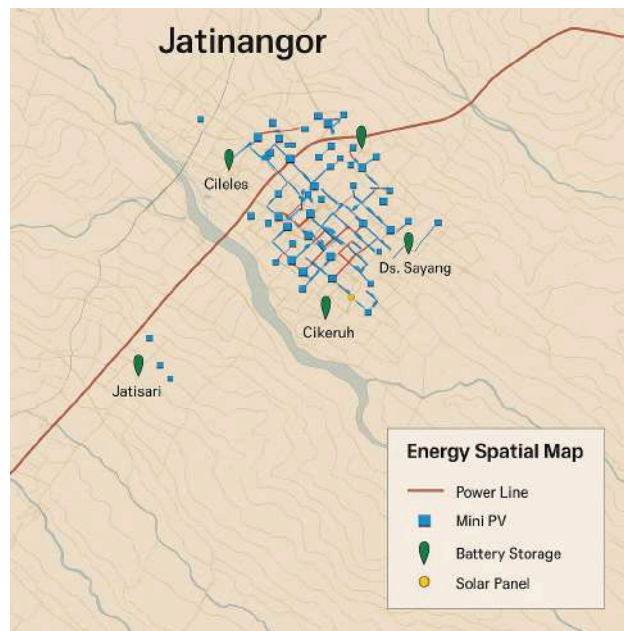
Gambar 14. Skema Integrasi Blockchain untuk Energi Lokal
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 30. Skema Sistem Insentif Token Energi Komunitas



Gambar 15. Skema Sistem Insentif Token Energi Komunitas
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 31. Peta Lokasi dan Spasial Energi Jatinangor (mini GIS)



Gambar 16. Peta Lokasi dan Spasial Energi Jatinangor (mini GIS)
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 32. Rumus Perhitungan Estimasi Produksi Energi Panel Surya (kWh/hari)

Rumus:

$$E = P \times H \times PR$$

Keterangan:

- E = Energi harian yang dihasilkan (kWh)
- P = Kapasitas panel surya (Wp), contoh: 300 Wp
- H = Jam efektif penyinaran harian, rata-rata Jatinangor: 4,5 jam
- PR = Performance ratio (rasio kinerja sistem), berkisar antara 0,75–0,85

Contoh Perhitungan:

$$E = 300 \times 4,5 \times 0,8 = 1.080 \text{ Wh} = 1,08 \text{ kWh/hari}$$

Lampiran 33. Rumus Perhitungan Estimasi Penghematan Biaya Listrik Bulanan

Rumus:

$$S = E \times t \times T$$

Keterangan:

- S = Penghematan (Rp/bulan)
- E = Energi per hari (kWh)
- t = Jumlah hari dalam 1 bulan (30 hari)
- T = Tarif listrik PLN per kWh (diasumsikan Rp1.500)

Contoh Perhitungan:

$$S = 1,08 \times 30 \times 1.500 = \text{Rp}48.600/\text{bulan}$$

Lampiran 34. Rumus Perhitungan Estimasi Emisi Karbon yang Dihindari

Rumus:

$$C = E_{\text{total}} \times EF$$

Keterangan:

- C = Emisi karbon yang berhasil dihindari (kg CO₂)
- E_{total} = Total energi dari panel surya (kWh)
- EF = Emission factor sistem PLN (Indonesia ± 0,85 kg CO₂/kWh – IESR 2023)

Contoh Perhitungan (per tahun):

$$C = (1,08 \times 365) \times 0,85 = 335,5 \text{ kg CO}_2$$

Lampiran 35. Rumus Perhitungan Rasio Surplus Energi Komunitas

Rumus:

$$R_s = \frac{E_p - E_c}{n}$$

Keterangan:

- R_s = Surplus rata-rata per rumah konsumen (kWh)
- E_p = Total energi yang diproduksi produsen (kWh)
- E_c = Total konsumsi semua rumah dalam jaringan
- n = Jumlah rumah konsumen non-produsen

Lampiran 36. Rumus Perhitungan Efisiensi Konversi Energi Sistem

Rumus:

$$\eta = \frac{E_{\text{output}}}{E_{\text{input}}} \times 100\%$$

Contoh:

Jika input dari matahari = 1350 Wh dan output listrik = 1080 Wh:

$$\eta = \frac{1.080}{1.350} \times 100\% \approx 80\%$$

Lampiran 37. Skrip Logaritma Monitoring Energi dengan ACS712

```
from machine import ADC, Pin
import math
import time

# Inisialisasi sensor arus pada pin ADC
ct_sensor = ADC(Pin(32))
ct_sensor.atten(ADC.ATTN_11DB) # untuk jangkauan 0-3.6V

def read_current():
    analog_val = ct_sensor.read()
    voltage = analog_val * (3.3 / 4095)
    current = (voltage - 1.65) / 0.066 # asumsikan sensor CT berbasis ACS712-20A
    return abs(current)

def log_energy():
    while True:
        current = read_current()
        voltage = 220 # diasumsikan tegangan AC stabil
        power = voltage * current # dalam Watt
        log_power = math.log10(power + 1) # log base 10 untuk skala kecil-besar
        print('Power:', power, 'W | Log(P):', round(log_power, 3))
        time.sleep(5) # delay 5 detik
```

Gambar 17. Skrip Logaritma Monitoring Energi dengan ACS712

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 38. Skrip Logaritma Logika Alur Pencatatan & Blockchain

```
LOOP setiap 5 detik:
    Ambil data dari sensor arus (I) dan tegangan (V)
    Hitung daya = I × V
    Hitung logaritma log10(daya + 1)
    Bandingkan dengan rata-rata komunitas
    Jika anomali → beri notifikasi ke dashboard
    Jika valid → simpan ke "Block Energi" lokal
    Kirim hash blok ke node jaringan blockchain
```

Gambar 18. Skrip Logaritma Monitoring Energi dengan ACS712

Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 39. Skrip Logaritma Penggunaan Logaritma dalam Visualisasi Data

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Data konsumsi energi (Watt) dari tiap rumah
energy_data = [80, 120, 300, 500, 700, 1000]

# Konversi ke skala log untuk visualisasi
log_energy = [math.log10(e+1) for e in energy_data]

plt.plot(log_energy)
plt.title("Konsumsi Energi dalam Skala Log")
plt.xlabel("Waktu")
plt.ylabel("Log(Power)")
plt.grid(True)
plt.show()
```

Gambar 19. Skrip Logaritma Penggunaan Logaritma dalam Visualisasi Data
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 40. Skrip Arduino C++ (ESP32)

```
#include <EmonLib.h> // Library pengukuran arus & tegangan
EnergyMonitor emon;

const float tegangan = 220.0; // Tegangan konstan
float daya, log_daya;
float konsumsi_sebelumnya = 0.0;
float token_user = 0.0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  emon.current(34, 60.006); // pin input CT Clamp, kalibrasi
  delay(1000);
}

void loop() {
  double Irms = emon.calcIrms(1480); // sampling arus

  daya = tegangan * Irms;
  log_daya = log10(daya + 1); // log skala daya

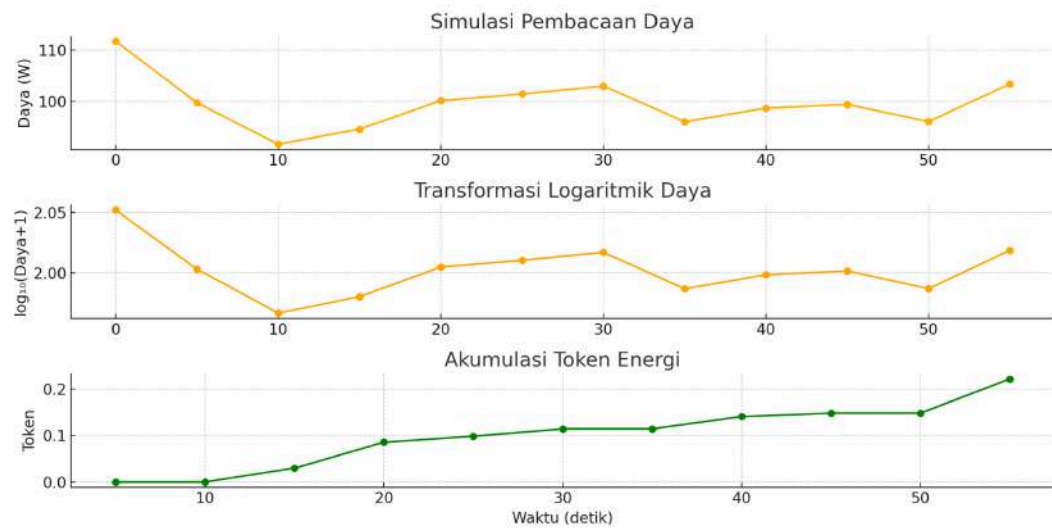
  // Simulasi tokenisasi
  float surplus = konsumsi_sebelumnya - daya;
  if (surplus > 0) {
    token_user += surplus * 0.01; // 1% surplus dikonversi jadi token
  }

  // logging ke serial (bisa diubah ke MQTT / HTTP)
  Serial.print("Daya (W): ");
  Serial.print(daya);
  Serial.print(" | Log(P): ");
  Serial.print(log_daya, 3);
  Serial.print(" | Token Energi: ");
  Serial.println(token_user, 2);

  konsumsi_sebelumnya = daya; // update nilai sebelumnya
  delay(5000); // jeda 5 detik
}
```

Gambar 20. Skrip Logaritma Penggunaan Logaritma Arduino C++ (ESP32)
Sumber: Dokumen Penulis, 2025

Lampiran 41. Simulasi Grafik Akumulasi Token Energi



Gambar 21. Grafik Akumulasi Token Energi

Sumber: Dokumen Penulis, 2025