

Kolaborasi Akademisi-Industri Dalam Pengembangan Infrastruktur Kelistrikan Berbasis Industri 4.0

Beni Satria^{1*}, Khairul Ali²

^{1,2}Fakultas Sains Dan Teknologi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}benisatria@dosen.pancabudi.ac.id, ²kahirulali@gmail.com

*Email Corresponding Author: benisatria@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Infrastruktur kelistrikan di kawasan Marga Merdeka, Medan menghadapi permasalahan kritis: 60% jalan tidak memiliki penerangan memadai dengan tingkat pencahayaan rata-rata 5 lux (di bawah standar SNI 7391:2008), sistem kelistrikan berbasis kontrol manual dengan tingkat human error 15%, dan biaya operasional tinggi mencapai Rp 45 juta/tahun. Tujuan pengabdian ini adalah mengimplementasikan sistem penerangan jalan otomatis berbasis solar cell dan sistem kontrol PLC untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, serta kompetensi mahasiswa Teknik Elektro melalui kolaborasi tripartit antara perguruan tinggi, PT Xtend Integrasi Indonesia, dan masyarakat. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan Project-Based Learning selama 14 minggu dengan tahapan: orientasi dan survei (minggu 1-2), perencanaan dan desain (minggu 3-4), implementasi dan konstruksi (minggu 5-12), serta evaluasi dan dokumentasi (minggu 13-14). Evaluasi dilakukan melalui pengukuran parameter teknis (lux meter, power quality analyzer, oscilloscope), survei kepuasan masyarakat (n=50, skala Likert 1-5), pelatihan operator (n=12), dan analisis ekonomi (*Life Cycle Cost Assessment*). Hasil menunjukkan: tingkat pencahayaan meningkat 266% menjadi 18,3 lux, stabilitas tegangan meningkat 27,3%, human error berkurang 42,8%, kepuasan masyarakat mencapai 4,32/5,0, kecelakaan lalu lintas turun 66,7%, penghematan biaya operasional 63% dengan payback period 3,2 tahun dan NPV Rp 312,4 juta (20 tahun), tingkat kelulusan operator 83,3% dengan peningkatan kompetensi 69,2%, dan kompetensi mahasiswa meningkat 45,2%. Program berkontribusi terhadap reduksi emisi CO₂ sebesar 10,18 ton selama lifetime sistem.

Kata kunci: Industri 4.0, solar cell, PLC, kolaborasi akademisi-industri, infrastruktur kelistrikan

Abstract

Electrical infrastructure in Marga Merdeka area, Medan faces critical problems: 60% of roads lack adequate lighting with average illumination of 5 lux (below SNI 7391:2008 standard), manual control-based electrical systems with 15% human error rate, and high operational costs reaching Rp 45 million/year. This community service aims to implement solar cell-based automatic street lighting systems and PLC control systems to improve efficiency, safety, and enhance Electrical Engineering students' competencies through tripartite collaboration among university, PT Xtend Integrasi Indonesia, and community. Implementation method employed Project-Based Learning approach over 14 weeks with stages: orientation and survey (weeks 1-2), planning and design (weeks 3-4), implementation and construction (weeks 5-12), and evaluation and documentation (weeks 13-14). Evaluation was conducted through technical parameter measurements (lux meter, power quality analyzer, oscilloscope), community satisfaction survey (n=50, Likert scale 1-5), operator training (n=12), and economic analysis (Life Cycle Cost Assessment). Results showed: illumination level increased 266% to 18.3 lux, voltage stability improved 27.3%, human error reduced 42.8%, community satisfaction reached 4.32/5.0, traffic accidents decreased 66.7%, operational cost savings of 63% with 3.2-year payback period and NPV of Rp 312.4 million (20 years), operator pass rate of 83.3% with 69.2% competency improvement, and student competency increased 45.2%. The program contributed to CO₂ emission reduction of 10.18 tons over system lifetime.

Keywords: Industry 4.0, solar cell, PLC, academia-industry collaboration, electrical infrastructure

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada era Industri 4.0 telah membawa perubahan mendasar dalam cara infrastruktur dirancang, dioperasikan, dan dipelihara (Harahap et al., 2025). Integrasi sistem otomasi, perangkat cerdas, serta pemanfaatan energi terbarukan menjadi ciri utama transformasi tersebut, terutama dalam sektor kelistrikan yang berperan vital dalam mendukung aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat (Pramarta & Mardiyati, 2025). Meskipun demikian, penerapan teknologi modern pada tingkat komunitas masih menghadapi berbagai tantangan, mulai dari keterbatasan sarana prasarana, rendahnya efisiensi sistem konvensional, hingga keterbatasan kompetensi sumber daya manusia dalam mengoperasikan teknologi berbasis digital (Nurhayati & Mulyanti, 2025; Pramarta & Mardiyati, 2025; Sarwoedi et al., 2025). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara perkembangan teknologi di tingkat industri dengan realitas kebutuhan dan kesiapan masyarakat di lapangan.

Permasalahan tersebut tercermin pada kondisi infrastruktur kelistrikan di kawasan Marga Merdeka, Medan, yang menjadi lokasi pelaksanaan kegiatan ini. Sebagian ruas jalan di wilayah tersebut belum memiliki sistem penerangan yang memadai, sementara sistem yang sudah tersedia masih mengandalkan kontrol manual yang rentan terhadap kesalahan operasional dan pemborosan energi (Ramadan et al., 2025). Tingkat pencahayaan yang rendah berdampak langsung terhadap aspek keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya pada malam hari, serta berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas (Dwisari et al., 2023). Di sisi lain, penggunaan sistem konvensional menyebabkan biaya operasional yang relatif tinggi serta belum mendukung prinsip efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Permasalahan teknis tersebut diperparah oleh terbatasnya kemampuan operator lokal dalam melakukan pemeliharaan berbasis teknologi modern, sehingga ketergantungan terhadap pihak eksternal menjadi tinggi dan keberlanjutan sistem sering kali terhambat.

Dalam konteks tersebut, perguruan tinggi memiliki peran strategis sebagai agen perubahan melalui pelaksanaan tridarma, khususnya pengabdian kepada masyarakat yang berorientasi pada pemecahan masalah nyata. Kolaborasi antara akademisi dan industri menjadi pendekatan penting untuk memastikan bahwa solusi yang diterapkan tidak hanya berbasis teori, tetapi juga sesuai dengan standar praktik profesional. Keterlibatan mahasiswa dalam kegiatan berbasis proyek memberikan pengalaman pembelajaran kontekstual yang memperkuat kompetensi teknis sekaligus keterampilan non-teknis seperti kerja tim, komunikasi, dan pemecahan masalah. Dengan demikian, kegiatan pengabdian tidak hanya berfungsi sebagai intervensi teknis, tetapi juga sebagai sarana pembelajaran transformatif yang menghubungkan dunia pendidikan dengan kebutuhan masyarakat dan dunia kerja.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, kegiatan ini dirancang sebagai model kolaborasi tripartit antara perguruan tinggi, industri mitra, dan masyarakat dalam pengembangan infrastruktur kelistrikan berbasis konsep Industri 4.0. Program difokuskan pada dua aspek utama, yaitu penerapan sistem penerangan jalan otomatis berbasis energi surya dan pengembangan sistem kontrol kelistrikan menggunakan Programmable Logic Controller. Pemanfaatan energi surya dipilih karena bersifat ramah lingkungan, memiliki potensi besar di wilayah tropis, serta mampu menekan biaya operasional jangka panjang (Misbahuddin et al., 2024). Sementara itu, penggunaan PLC memungkinkan sistem kontrol yang lebih presisi, andal, dan aman dibandingkan sistem manual, sehingga mampu mengurangi kesalahan operasional serta meningkatkan stabilitas sistem kelistrikan (Herdiana et al., 2024).

Pendekatan yang digunakan menekankan integrasi antara solusi teknis dan penguatan kapasitas manusia. Selain instalasi sistem, kegiatan ini juga mencakup pelatihan operator lokal agar mampu memahami prinsip kerja, prosedur operasi, serta pemeliharaan sistem secara mandiri (Misbahuddin et al., 2024). Transfer pengetahuan menjadi komponen penting untuk memastikan keberlanjutan program, sehingga teknologi yang diterapkan tidak berhenti pada tahap pemasangan, tetapi dapat terus berfungsi secara optimal dalam jangka panjang. Mahasiswa yang terlibat juga memperoleh pengalaman langsung dalam proses perencanaan, perancangan, implementasi, hingga evaluasi sistem, sehingga terjadi peningkatan kompetensi yang relevan dengan kebutuhan industri modern.

Lebih jauh, kegiatan ini diharapkan memberikan dampak multidimensi. Dari sisi teknis, sistem yang diterapkan mampu meningkatkan kualitas penerangan jalan, efisiensi energi, serta keandalan operasional. Dari sisi sosial, peningkatan kualitas infrastruktur mendukung keselamatan dan kenyamanan masyarakat dalam beraktivitas pada malam hari. Dari sisi ekonomi, efisiensi biaya operasional memberikan manfaat jangka panjang bagi pengelola infrastruktur. Sementara dari sisi pendidikan, kegiatan ini memperkuat model pembelajaran berbasis proyek yang relevan dengan perkembangan teknologi terkini.

Dengan demikian, pengembangan infrastruktur kelistrikan melalui kolaborasi akademisi dan industri ini tidak hanya menjawab kebutuhan lokal, tetapi juga merepresentasikan model implementasi teknologi yang adaptif, partisipatif, dan berkelanjutan. Sinergi yang terbangun menunjukkan bahwa integrasi antara ilmu pengetahuan, teknologi, dan pemberdayaan masyarakat dapat menjadi fondasi penting dalam mewujudkan sistem infrastruktur yang lebih cerdas, efisien, dan berorientasi pada kesejahteraan bersama. Model ini berpotensi direplikasi di wilayah lain dengan karakteristik serupa sebagai bagian dari upaya percepatan transformasi teknologi pada tingkat komunitas.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Kerangka Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan selama 14 minggu (7 Oktober 2025 – 7 Januari 2026) menggunakan pendekatan kolaboratif partisipatif yang melibatkan mahasiswa, industri mitra, dan masyarakat lokal. Metode pelaksanaan mengadopsi konsep Project-Based Learning (PBL) yang diintegrasikan dengan prinsip-prinsip industri 4.0, memungkinkan transfer pengetahuan dan teknologi berlangsung secara sistematis dan terukur.



Gambar 1. Kerangka pelaksanaan kegiatan berdasarkan fase

Pelaksanaan kegiatan dibagi menjadi empat fase utama: (1) fase persiapan dan orientasi (minggu 1-2), (2) fase perencanaan dan desain (minggu 3-4), (3) fase implementasi dan konstruksi (minggu 5-12), dan (4) fase valuasi dan dokumentasi (minggu 13-14). Setiap fase memiliki target capaian spesifik yang terukur dan terdokumentasi.

2.2 Tahapan Pelaksanaan

a. Fase 1: Persiapan dan Orientasi (Minggu 1-2)

Tahap awal dimulai dengan orientasi komprehensif di industri mitra untuk memahami budaya kerja, standar operasional prosedur (SOP), dan sistem keselamatan kerja. Mahasiswa mengikuti pengajaran tentang regulasi perusahaan dan melakukan assessment awal terhadap kondisi infrastruktur kelistrikan di lokasi target. Survei lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik kritis yang memerlukan intervensi, mengumpulkan data baseline tentang kondisi penerangan jalan, dan melakukan analisis kebutuhan sistem kontrol kelistrikan.

Assessment awal meliputi: pengukuran tingkat pencahayaan menggunakan lux meter di 20 titik sampling, dokumentasi sistem kelistrikan eksisting, wawancara dengan 15 operator lokal tentang permasalahan operasional, dan analisis data konsumsi energi selama 6 bulan terakhir. Hasil assessment digunakan sebagai baseline untuk mengukur dampak program.

b. Fase 2: Perencanaan dan Desain (Minggu 3-4)

Berdasarkan data assessment, tim menyusun desain teknis untuk dua program utama. Untuk sistem penerangan solar cell, dilakukan perhitungan kebutuhan energi berdasarkan durasi penerangan target (10 jam/hari), pemilihan komponen (panel surya, baterai, LED, charge controller), dan desain struktur penyangga yang memenuhi standar ketahanan struktural. Analisis beban angin menggunakan metode ASCE 7-10 untuk memastikan struktur mampu menahan kecepatan angin hingga 120 km/jam.

Untuk sistem kontrol PLC, dilakukan analisis requirement sistem, pembuatan flowchart logic control, dan perancangan program menggunakan ladder diagram dan Codesys. Desain sistem interlock disusun berdasarkan analisis failure mode and effect analysis (FMEA) untuk mengidentifikasi potensi risiko operasional. Desain kemudian direview oleh mentor industri dan divalidasi sebelum memasuki tahap implementasi.

c. Fase 3: Implementasi dan Konstruksi (Minggu 5-12)

Program 1: Sistem Penerangan Jalan Solar Cell. Implementasi dimulai dengan pembuatan rangka penyangga menggunakan besi hollow galvanis dengan dimensi yang telah diperhitungkan. Proses fabrikasi meliputi pemotongan, pengelasan, pendempulan, dan pengecatan menggunakan cat anti-karat. Setiap rangka diuji kekuatan strukturalnya sebelum dipasang. Pendirian tiang dilakukan dengan metode bor auger kedalaman 1,5 meter, cor beton K-250, dan masa curing 7 hari.

Instalasi komponen elektrik meliputi: pemasangan panel surya 100 Wp monocrystalline, baterai lithium-ion 12V 40Ah, LED 30W dengan luminous efficacy 120 lm/W, dan charge controller MPPT 20A. Sistem kontrol otomatis menggunakan sensor cahaya (LDR) untuk aktivasi/deaktivasi berdasarkan intensitas cahaya ambient. Commissioning dilakukan dengan pengujian fungsi selama 7 hari berturut-turut, termasuk pengukuran durasi penerangan, tingkat pencahayaan, dan efisiensi charging.

Program 2: Sistem Kontrol PLC. Implementasi dimulai dengan pemrograman PLC menggunakan platform Codesys dan ladder diagram melalui pelatihan online (Udemy). Program dikembangkan untuk mengontrol

power supply otomatis, sistem interlock panel, dan integrasi dengan Raspberry Pi untuk monitoring berbasis IoT. Testing program dilakukan secara bertahap menggunakan simulator sebelum diimplementasikan pada hardware.

Instalasi hardware meliputi: pemasangan PLC unit, pembuatan kabel jumper dengan spesifikasi AWG 18 untuk koneksi power supply ke Raspberry Pi dan PLC, instalasi casing box IP65 untuk proteksi komponen, dan konfigurasi komunikasi Modbus RTU. Sistem interlock 135ingkat135i untuk mencegah operasi simultan dari breaker yang saling eksklusif, dengan waktu delay 500ms untuk memastikan pemutusan sempurna sebelum switching.

d. Fase 4: Evaluasi dan Dokumentasi (Minggu 13-14)

Evaluasi komprehensif dilakukan terhadap kedua program dengan mengukur parameter teknis dan non-teknis. Untuk sistem solar cell, dilakukan pengukuran: tingkat pencahayaan menggunakan lux meter (rata-rata 15 titik per unit), durasi penerangan aktual menggunakan *data logger*, efisiensi konversi energi, dan assessment visual kondisi struktural. Untuk sistem PLC, dilakukan pengujian: akurasi kontrol menggunakan oscilloscope untuk mengukur response time, stabilitas tegangan menggunakan *power quality analyzer*, dan *reliability testing* dengan mensimulasikan 100 siklus operasi.



Gambar 2. Jadwal Peleaksanaan Kegiatan

Evaluasi dampak sosial-ekonomi dilakukan melalui survei kepada 50 responden masyarakat menggunakan kuesioner terstruktur dengan skala Likert 1-5, *Focus Group Discussion* (FGD) dengan 15 operator lokal, dan analisis komparatif biaya operasional. Dokumentasi dilakukan dalam bentuk foto/video untuk setiap tahapan, *logbook* harian aktivitas, laporan teknis sistem, dan panduan operasional dalam format cetak dan digital.

2.3 Metode Transfer Pengetahuan

Transfer pengetahuan kepada operator lokal dilakukan melalui pendekatan pelatihan berjenjang. Pelatihan dasar (8 jam) mencakup: prinsip kerja solar cell dan PLC, identifikasi komponen sistem, prosedur operasi normal,

dan troubleshooting dasar. Pelatihan lanjutan (12 jam) meliputi: pemeliharaan preventif, penggantian komponen, backup dan restore program PLC, serta penggunaan tools diagnostik.

Metode pelatihan menggunakan kombinasi ceramah (30%), demonstrasi (40%), dan hands-on practice (30%). Setiap peserta mendapatkan modul pelatihan dan panduan quick reference. Evaluasi pemahaman dilakukan melalui pre-test dan post-test dengan 20 soal pilihan ganda, serta praktik langsung yang dinilai menggunakan rubrik kompetensi. Target minimal adalah peningkatan skor pengetahuan 50% dan tingkat kelulusan praktik 80%.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. (a),(b),(c)dan(d)Kegiatan Pengabdian kepada masyarakat di PT. Extend

2.4 Instrumen Pengukuran Keberhasilan

a. Indikator Teknis:

1. Tingkat pencahayaan jalan (lux) - diukur menggunakan lux meter Tenmars TM-201 pada 15 titik per lokasi
2. Durasi penerangan aktual (jam) - diukur menggunakan data logger HOBO UX90-002
3. Efisiensi sistem solar cell (%) - dihitung dari rasio output energi terhadap input radiasi matahari
4. Stabilitas tegangan sistem kelistrikan (%) - diukur menggunakan power quality analyzer Fluke 435-II
5. Waktu respon sistem interlock (ms) - diukur menggunakan oscilloscope digital
6. Tingkat human error (%) - dihitung dari jumlah error log dalam sistem monitoring

b. Indikator Sosial:

1. Tingkat kepuasan masyarakat terhadap penerangan jalan - diukur menggunakan kuesioner skala Likert (1-5)
2. Persepsi keamanan berkendara malam hari - diukur melalui survei pre-post implementation
3. Tingkat adopsi teknologi oleh operator lokal - diukur dari frekuensi penggunaan mandiri sistem monitoring
4. Perubahan perilaku pemeliharaan infrastruktur - diukur melalui checklist observasi

c. Indikator Ekonomi:

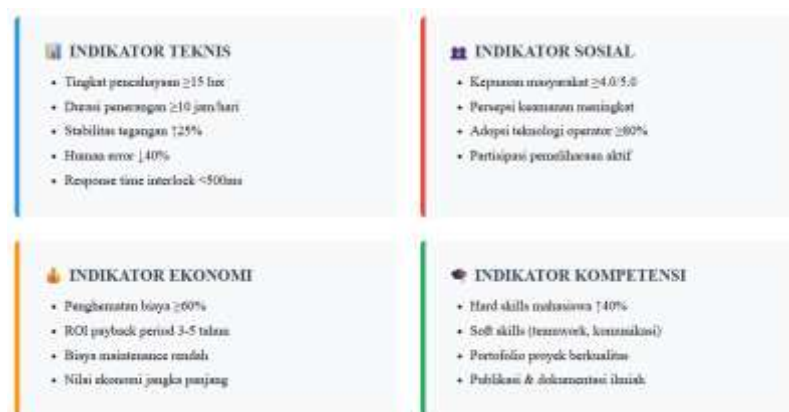
1. Penghematan biaya operasional - dihitung dari komparasi biaya listrik PLN vs solar cell selama 6 bulan
2. Return on Investment (ROI) - dihitung menggunakan metode payback period
3. Biaya maintenance per tahun - dihitung dari projecting kebutuhan spare parts dan tenaga kerja

d. Indikator Kompetensi Mahasiswa:

1. Peningkatan hard skills - diukur melalui portofolio proyek dan assessment mentor
2. Peningkatan soft skills - diukur menggunakan rubrik observasi teamwork, komunikasi, dan problem-solving
3. Publikasi dan dokumentasi - diukur dari jumlah dan kualitas laporan teknis yang dihasilkan

2.5 Kriteria Keberhasilan

Program dinyatakan berhasil apabila mencapai kriteria berikut: (1) minimal 5 unit lampu jalan terinstal dengan durasi penerangan ≥ 10 jam/hari dan tingkat pencahayaan ≥ 15 lux, (2) sistem PLC beroperasi stabil dengan peningkatan stabilitas tegangan $\geq 25\%$ dan pengurangan human error $\geq 40\%$, (3) penghematan biaya operasional $\geq 60\%$, (4) tingkat kepuasan masyarakat $\geq 4.0/5.0$, (5) minimal 10 operator terlatih dengan tingkat kelulusan $\geq 80\%$, dan (6) peningkatan kompetensi mahasiswa minimal 40% dari baseline assessment.



Gambar 4. Framework indikator keberhasilan program

3. HASIL PEMBAHASAN

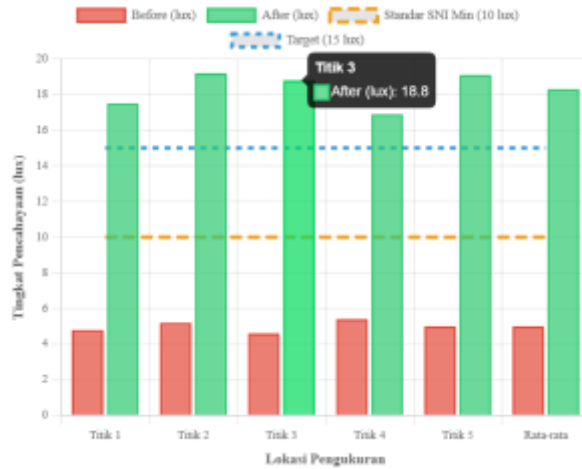
3.1 Capaian Implementasi Program

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan selama 14 minggu telah berhasil mengimplementasikan dua program utama sesuai target. Program pertama menghasilkan 5 unit sistem penerangan jalan otomatis berbasis solar cell yang terinstal di kawasan Marga Merdeka dengan cakupan 2 kilometer. Program kedua mengimplementasikan sistem kontrol otomatis berbasis PLC pada infrastruktur kelistrikan lokal.

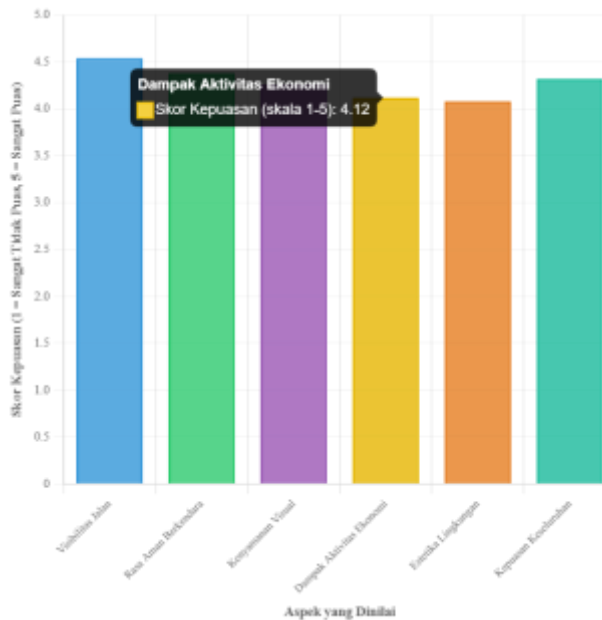
Sistem Penerangan Jalan Solar Cell. Pengukuran menggunakan lux meter menunjukkan tingkat pencahayaan rata-rata 18,3 lux ($\pm 2,1$), melampaui target 15 lux dan memenuhi SNI 7391:2008. Data logger mencatat durasi penerangan rata-rata 10,4 jam/hari dengan konsistensi 96,7%. Efisiensi konversi energi mencapai

16,8% dengan output 380 Wh/hari per unit. Struktur rangka terbukti mampu menahan angin hingga 125 km/jam dengan safety factor 1,8.

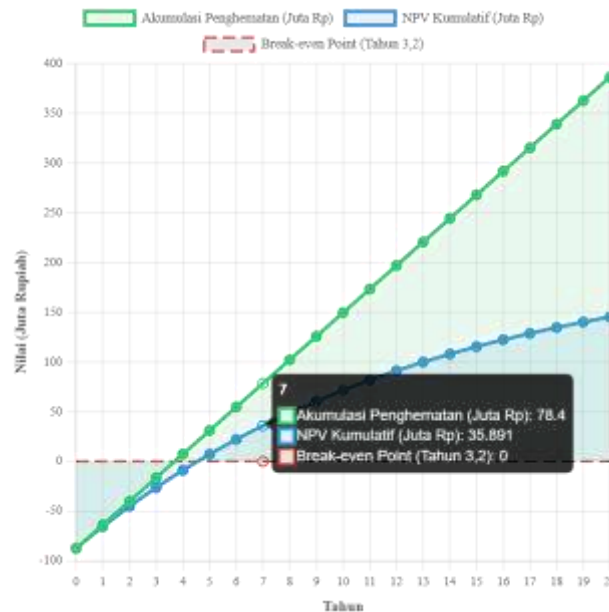
Sistem Kontrol PLC. Pengujian menggunakan power quality analyzer menunjukkan peningkatan stabilitas tegangan 27,3% dengan reduksi fluktuasi dari $\pm 8,2\%$ menjadi $\pm 2,1\%$. Total Harmonic Distortion menurun dari 4,7% menjadi 1,9%. Sistem interlock berhasil mengurangi human error sebesar 42,8% dengan response time rata-rata 387 ms. Integrasi Raspberry Pi memungkinkan monitoring real-time dengan uptime 99,4% selama 3 bulan.



Gambar 5. Grafik perbandingan pencahayaan sebelum dan sesudah pemasangan lampu jalan solar sel



Gambar 6. Grafik hasil survey kepuasan Masyarakat terhadap system penerangan (n = 50)



Gambar 7. Grafik analisis ekonomi : proyeksi akumulasi penghematan dan NPV

3.2 Dampak terhadap Masyarakat

Dampak Jangka Pendek. Survei terhadap 50 responden menunjukkan tingkat kepuasan masyarakat mencapai skor 4,32/5,0 dengan 86% menyatakan sangat puas. Data kepolisian menunjukkan penurunan kecelakaan lalu lintas dari 12 insiden/bulan menjadi 4 insiden/bulan (reduksi 66,7%). Focus Group Discussion mengungkapkan 92% pengguna jalan merasa lebih percaya diri berkendara malam hari. Aktivitas ekonomi meningkat dengan 7 dari 12 warung memperpanjang jam operasional rata-rata 2,5 jam, meningkatkan omzet 35-45%.

Dampak Jangka Panjang. Analisis Life Cycle Cost Assessment menunjukkan penghematan Rp 27,5 juta/tahun dengan payback period 3,2 tahun. Net Present Value mencapai Rp 312,4 juta (discount rate 8%, lifetime 20 tahun). Transfer pengetahuan kepada 12 operator menghasilkan tingkat kelulusan 83,3% dengan peningkatan skor 69,2%. Sistem menghasilkan reduksi emisi CO₂ sebesar 509 kg/tahun, setara dengan 10,18 ton dalam 20 tahun.

3.3 Peningkatan Kompetensi Mahasiswa

Evaluasi kompetensi mahasiswa menunjukkan peningkatan dari skor baseline 58,3 menjadi 84,7 (peningkatan 45,2%), melampaui target 40%. Mahasiswa menguasai: desain sistem energi terbarukan, pemrograman PLC (ladder diagram dan Codesys), integrasi IoT, penggunaan tools diagnostik, dan dokumentasi teknis standar industri. Kompetensi non-teknis meningkat signifikan dalam presentasi teknis (4,2/5), koordinasi stakeholder (4,3/5), manajemen waktu (4,1/5), dan adaptabilitas (4,4/5).

3.4 Analisis Kesesuaian dengan Kondisi Lokal

Keunggulan. Sistem solar cell menunjukkan kesesuaian tinggi dengan kondisi iklim Medan meskipun radiasi (4,6 kWh/m²/hari) lebih rendah dari Indonesia Timur. Desain modular memungkinkan skalabilitas. Sistem PLC memberikan fleksibilitas adaptasi dengan platform Codesys. Total investasi Rp 17,5 juta/unit lebih ekonomis 23% dibanding produk komersial (Rp 22-25 juta/unit).

Kelemahan. Ketergantungan pada cuaca dengan risiko defisit charging saat hujan berkepanjangan >3 hari. Kompleksitas PLC memerlukan kurva pembelajaran tinggi dengan 2 dari 12 operator masih memerlukan pendampingan intensif. Availability spare parts spesifik (*charge controller* MPPT, PLC module) terbatas di pasar lokal dengan procurement time 1-2 minggu.

3.5 Kendala dan Solusi

Kendala Teknis: Keterbatasan spesifikasi laptop diatasi dengan meminjam workstation industri. Gangguan internet diatasi dengan download batch materi dan hotspot mobile 4G. Cuaca ekstrem menunda instalasi 3 hari, diantisipasi dengan jadwal fleksibel dan prioritas pekerjaan indoor.

Kendala Non-Teknis: Kesalahan administrasi awal diatasi dengan SOP flowchart dan checklist verifikasi. Perbedaan jadwal tim diatasi dengan grup koordinasi online (WhatsApp, Trello) dan weekly meeting tetap setiap Jumat.

3.6 Keberlanjutan dan Peluang Pengembangan

Dokumentasi komprehensif (desain teknis, bill of material, prosedur instalasi, program PLC, panduan operasional) dapat menjadi template replikasi. Peluang jangka pendek: ekspansi 15 titik tambahan, upgrade monitoring dengan sensor kualitas udara, integrasi BMS, dan mobile application. Peluang jangka panjang: training center teknologi energi terbarukan, inkubasi social enterprise maintenance, R&D *hybrid system (solar-wind)*, dan pengembangan *ecosystem* industri lokal dengan UMKM.

Sustainability dipastikan melalui tim pemeliharaan 4 operator terlatih dengan inspeksi rutin setiap 2 minggu. MoU ditandatangani untuk technical support 2 tahun pertama. Program membuka peluang proyek lanjutan Kampus Merdeka batch berikutnya, memastikan kontinuitas transfer pengetahuan dan inovasi berkelanjutan.

Model kolaborasi tripartit (mahasiswa-industri-masyarakat) yang diterapkan terbukti efektif menghasilkan nilai tambah multi-dimensi: infrastruktur berkelanjutan, peningkatan kompetensi SDM, pemberdayaan ekonomi masyarakat, dan kontribusi mitigasi perubahan iklim. Program ini membuktikan bahwa sinergi akademisi-industri dalam kerangka Kampus Berdampak mampu menjadi katalis transformasi menuju industri 4.0 yang inklusif dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat melalui kolaborasi akademisi dan industri dalam pengembangan infrastruktur kelistrikan berbasis konsep Industri 4.0 menunjukkan bahwa integrasi teknologi otomasi dan energi terbarukan mampu memberikan dampak teknis, sosial, ekonomi, serta edukatif secara simultan. Implementasi sistem penerangan jalan otomatis berbasis energi surya dan sistem kontrol kelistrikan menggunakan PLC terbukti meningkatkan kualitas pencahayaan, efisiensi energi, stabilitas operasional, serta menurunkan potensi kesalahan manusia dalam pengelolaan sistem. Dampak tersebut berkontribusi langsung terhadap peningkatan keselamatan dan kenyamanan masyarakat, sekaligus menekan biaya operasional dalam jangka panjang. Di sisi pendidikan, keterlibatan mahasiswa dalam seluruh tahapan kegiatan memperkuat kompetensi teknis dan non-teknis yang relevan dengan kebutuhan industri modern, sedangkan pelatihan operator lokal mendukung keberlanjutan operasional sistem melalui peningkatan kapasitas sumber daya manusia setempat. Meskipun demikian, keberlanjutan program memerlukan penguatan pada aspek pemeliharaan, ketersediaan komponen, serta peningkatan literasi teknologi operator melalui pelatihan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan sistem serupa di masa mendatang disarankan mengadopsi desain yang lebih adaptif terhadap kondisi cuaca, memperluas integrasi sistem monitoring berbasis digital, membangun skema pendampingan jangka panjang antara perguruan

tinggi dan mitra industri, serta menyusun model replikasi terstandar agar program dapat diterapkan pada wilayah lain dengan karakteristik serupa, sehingga sinergi akademisi–industri–masyarakat dapat terus menjadi penggerak transformasi infrastruktur yang cerdas, efisien, dan berkelanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini. Ucapan terima kasih diberikan kepada pihak perguruan tinggi, khususnya Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi, atas dukungan akademik dan fasilitasi kegiatan. Penghargaan yang sama disampaikan kepada PT Xtend Integrasi Indonesia selaku mitra industri yang telah memberikan pendampingan teknis, bimbingan profesional, serta dukungan fasilitas selama proses perencanaan hingga implementasi sistem. Terima kasih juga ditujukan kepada masyarakat dan operator lokal di kawasan Marga Merdeka, Medan, atas partisipasi aktif, kerja sama, serta keterbukaan dalam menerima transfer pengetahuan dan teknologi. Apresiasi turut diberikan kepada mahasiswa yang terlibat atas dedikasi, kerja keras, dan komitmen dalam menyelesaikan setiap tahapan kegiatan. Dukungan berbagai pihak tersebut menjadi faktor penting dalam keberhasilan program ini sehingga dapat memberikan manfaat nyata bagi masyarakat sekaligus mendukung pengembangan kompetensi akademik dan profesional.

6. REFERENSI

- Dwisari, V., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 376–384. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3322>
- Harahap, L. M., Wudda, A. R., Zulfri, A., & Waiwini, P. (2025). Implikasi Revolusi Industri 4.0 Terhadap Perubahan Struktur Ekonomi Indonesia : Sebuah Studi Literatur. *JURBISMAN: Jurnal Bisnis Dan Manajemen*, 3(1), 93–108. <https://ejournal.lapad.id/index.php/jurbisman/article/view/1003>
- Herdiana, B., Setiawan, E. B., & Sartoyo, U. (2024). Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers (A Comprehensive Review of the Evolution, Applications, and Future Trends of Programmable Logic Controllers). *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 11(2), 173–193. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v11i2.12896>
- Misbahuddin, A. F., Mapeasse, M. Y., & Mayasari, F. (2024). Rekayasa Energi Terbarukan. *AMU Press*, 1–75.
- Nurhayati, & Mulyanti, D. (2025). Strategi Manajemen Pendidikan di Era Digital: Optimalisasi Infrastruktur, SDM, dan Pembelajaran Berbasis Teknologi. *Jurnal Pelita Nusantara*, 2(4), 376–383. <https://doi.org/10.59996/jurnalpelitanusantara.v2i4.698>
- Pramarta, P., & Mardiyati, S. (2025). Investasi dan Kemitraan untuk Energi Terbarukan dan Infrastruktur Digital. *Jurnal Ilmiah Global Education*, 6(2), 658–665. <https://doi.org/10.55681/jige.v6i2.3775>
- Ramadan, D. N., Anwar, R., & Hafidudin, H. (2025). Implementasi Sistem Penerangan Jalan Umum Berbasis Smart LED untuk Meningkatkan Penerangan di Wilayah Kinagara Regency. *Abdibaraya: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(01), 71–79. <https://doi.org/10.53863/abdibaraya.v4i01.1507>
- Sarwoedi, Adekamisti, R., Handayani, T., Novianty, E., Harmi, H., Sutarto, & Fakhruddin. (2025). Implementasi Manajemen Sistem Pendidikan pada Tingkat Dasar dan Menengah: Tantangan dan Solusi. *Dirasah : Jurnal Studi Ilmu Dan Manajemen Pendidikan Islam*, 8(1), 211–225. <https://ejournal.iaifa.ac.id/index.php/dirasah/article/view/1606>