

Strategi Optimalisasi Manajemen Proyek Infrastruktur Energi Terbarukan untuk Meningkatkan Ketepatan Waktu dan Kualitas Instalasi

Alhadi Ihsan*, Melisa Mulyadi

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received July 1, 2025 Accepted July 17, 2025 <i>Keywords:</i> Project Management, Renewable Energy, Electrical Installation, Construction Quality, Project Completion Timeline, Engineering Practice.	<i>Renewable energy infrastructure is essential for energy transition and national energy security, yet project execution often faces delays and suboptimal installation quality. This study investigates engineering practices for managing renewable energy projects, focusing on photovoltaic (PV) system installations in diverse Indonesian regions. Using a qualitative descriptive approach with case studies and field observations, the research analyzes project execution processes to identify key factors influencing outcomes. Findings show that integrated project management based on hands-on field practices, reinforced stakeholder communication, and adherence to measurable quality standards can accelerate project completion while maintaining reliability. In addition, adapting local technologies and engaging communities support smoother implementation and long-term sustainability. The study provides practical insights for engineering professionals in developing project management strategies that enhance efficiency and quality while contributing to Indonesia's renewable energy goals.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 1 Juli 2025 Diterima: 17 Juli 2025 Kata Kunci: Manajemen proyek; Energi terbarukan; Instalasi ketenagalistrikan; Kualitas konstruksi; Waktu penyelesaian; Praktik keinsinyuran..	Proyek infrastruktur energi terbarukan berperan penting dalam transisi energi dan ketahanan energi nasional. Namun, implementasinya kerap menghadapi tantangan berupa keterlambatan penyelesaian dan mutu instalasi yang belum optimal. Penelitian ini mengkaji praktik keinsinyuran dalam pengelolaan proyek energi terbarukan, dengan fokus pada optimasi waktu dan peningkatan kualitas instalasi. Studi ini didasarkan pada pengalaman lapangan penulis dalam pembangunan sistem fotovoltaik (PV) di berbagai wilayah Indonesia dengan karakteristik geografis dan sosial yang beragam. Metode yang digunakan bersifat kualitatif-deskriptif melalui studi kasus dan observasi langsung. Hasil menunjukkan bahwa penerapan manajemen proyek berbasis praktik lapangan, penguatan komunikasi lintas pemangku kepentingan, serta penerapan standar mutu instalasi yang konsisten mampu mempercepat penyelesaian proyek tanpa menurunkan kualitas. Selain itu, adaptasi teknologi lokal dan pelibatan masyarakat mendukung kelancaran implementasi serta keberlanjutan jangka panjang. Temuan ini memberikan kontribusi praktis bagi para profesional teknik dalam merancang strategi pengelolaan proyek yang efektif, efisien, dan berorientasi pada keberlanjutan infrastruktur energi terbarukan di Indonesia.

*Corresponding author. Alhadi Ihsan
Email address: alhadi.sikumbang19@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Dalam era transisi energi global, kebutuhan akan sistem energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan mendorong percepatan pembangunan infrastruktur energi terbarukan. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan sumber daya energi terbarukan yang melimpah, memiliki tantangan tersendiri dalam membangun dan mengelola proyek-proyek tersebut, baik dari aspek teknis, geografis, hingga sosial-budaya. Keberhasilan proyek tidak hanya diukur dari realisasi pembangunannya, namun juga dari segi efisiensi waktu penyelesaian dan kualitas instalasi yang memenuhi standar nasional dan internasional.

Sebagai seorang profesional teknik dengan pengalaman dalam proyek transmisi, pembangkitan energi terbarukan, serta manajemen konstruksi, penulis menyaksikan langsung berbagai dinamika di lapangan. Keterlambatan akibat ketidaksiapan material, kesenjangan koordinasi antarpihak, serta mutu pekerjaan instalasi yang belum sesuai spesifikasi merupakan tantangan yang kerap muncul. Di sisi lain, pengalaman juga memperlihatkan bagaimana strategi komunikasi, kontrol kualitas lapangan, dan penyesuaian metode kerja dapat menghasilkan percepatan dan peningkatan mutu pekerjaan secara signifikan.

Pengelolaan proyek infrastruktur energi terbarukan memerlukan pendekatan yang terstruktur dan sistematis, terutama mengingat kompleksitas multidimensi yang mencakup aspek teknis, sosial, geografis, dan regulatif. Salah satu acuan utama dalam praktik manajemen proyek adalah PMBOK® Guide (*Project Management Body of Knowledge*) yang diterbitkan oleh Project Management Institute (PMI). Dalam edisi keenamnya, PMBOK mendefinisikan lima domain utama pengetahuan yang krusial, yaitu Scope Management, Time Management, Cost Management, Quality Management, dan Risk Management. Kelima elemen ini menjadi kerangka kerja dalam perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan evaluasi proyek, termasuk dalam sektor energi terbarukan.

Dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia, tantangan dalam proyek energi terbarukan tidak hanya sebatas pada aspek teknis, tetapi juga mencakup keterbatasan infrastruktur logistik, rendahnya kapasitas tenaga kerja lokal, serta minimnya koordinasi antar pemangku kepentingan. Heravi *et al.* (2018) menunjukkan bahwa penyebab utama keterlambatan proyek konstruksi skala besar meliputi ketidaktepatan perencanaan, keterlambatan pengadaan, serta lemahnya pengendalian mutu lapangan.

Untuk menjamin kualitas instalasi sistem fotovoltaik (PLTS), diperlukan acuan standar yang dapat digunakan dalam setiap tahapan proyek, mulai dari desain hingga commissioning. Di Indonesia, referensi utama dalam hal ini adalah SPLN D3.005:2020, yang diterbitkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan berfungsi sebagai standar instalasi sistem PV terhubung jaringan tegangan rendah dan menengah. Selain itu, standar internasional yang relevan adalah IEC 62548 yang mengatur persyaratan desain array PV dan IEC 60364 terkait instalasi listrik tegangan rendah. Kedua standar ini mencakup hal-hal penting seperti proteksi arus lebih, sistem pentanahan, penggunaan konektor yang sesuai, dan verifikasi instalasi.

Manajemen proyek yang tidak hanya berorientasi pada penyelesaian waktu tetapi juga memperhatikan integritas mutu instalasi akan menghasilkan kinerja proyek yang lebih berkelanjutan. Dalam hal ini, terdapat keterkaitan langsung antara efektivitas manajemen proyek dengan kualitas hasil konstruksi. Sebagai contoh, kegagalan dalam pengelolaan Time Management (jadwal proyek) berpotensi menurunkan kualitas instalasi akibat tergesanya pelaksanaan dan terbatasnya waktu untuk inspeksi teknis. Sebaliknya, manajemen mutu

yang baik dapat mencegah rework dan meningkatkan efisiensi biaya secara keseluruhan . Oleh karena itu, penerapan prinsip manajemen proyek yang komprehensif sangat krusial untuk memastikan keberhasilan proyek-proyek energi terbarukan, baik dari sisi waktu penyelesaian maupun mutu instalasi teknisnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, jurnal ini disusun untuk mengeksplorasi praktik keinsinyuran yang telah diterapkan dalam proyek-proyek infrastruktur energi terbarukan, dengan fokus utama pada dua aspek kritis yaitu ketepatan waktu penyelesaian proyek dan kualitas instalasi PLTS sistem. Penelitian ini diharapkan menjadi kontribusi nyata dalam upaya peningkatan efektivitas manajemen proyek energi terbarukan di Indonesia, serta sebagai bagian dari pemenuhan kewajiban keprofesian insinyur dalam menyampaikan praktik terbaik dan inovasi di bidangnya.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif berbasis studi kasus, yang mengandalkan pengalaman empiris langsung penulis selama memimpin dan terlibat dalam pelaksanaan proyek-proyek infrastruktur energi terbarukan di Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan penulis untuk menjelaskan secara mendalam dinamika nyata yang terjadi di lapangan, serta mengevaluasi strategi manajemen proyek yang diterapkan untuk mengatasi kendala teknis, administratif, maupun sosial.

2.2 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari:

- a) Data primer, yaitu catatan harian proyek, Form inspeksi, laporan mingguan, log site progress, dan dokumentasi commissioning dari proyek-proyek yang pernah dikelola langsung oleh penulis.
- b) Data sekunder, yaitu dokumen peraturan dan standar teknis (SPLN, IEC, IEEE), studi literatur dari jurnal ilmiah dan publikasi profesional terkait manajemen proyek dan energi terbarukan.

2.3 Objek Studi

Objek studi terdiri dari beberapa proyek infrastruktur ketenagalistrikan yang telah diselesaikan atau sedang berlangsung, antara lain:

- a) Proyek Pembangunan PLTS On-grid 2MWp PT Yanmar Indonesia, Cikarang.
- b) Proyek PLTS On-grid 1.053 MWp PT Tunas Alfin, Cikupa.

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa cara:

- a) Observasi langsung di lapangan, selama masa konstruksi, instalasi, dan commissioning.
- b) Analisis dokumen proyek, seperti Rencana Mutu Proyek (Project Quality Plan), Rencana Kerja dan Syarat-Syarat (RKS), dan laporan pengawasan mingguan.

2.5 Teknik Analisis

Analisis dilakukan melalui:

- a) Analisis tematik, yaitu mengelompokkan temuan berdasarkan tema: ketepatan waktu, kualitas instalasi, pengambilan keputusan lapangan, dan efektivitas manajemen tim.
- b) Evaluasi praktik keinsinyuran, dengan membandingkan implementasi di lapangan terhadap teori dan standar baku yang berlaku.

2.6 Validasi Data

Validasi data dilakukan melalui triangulasi antara catatan lapangan, dokumen teknis, dan konfirmasi dengan pihak-pihak terkait (*Engineering, Project Engineer, atau QC inspector*). Selain itu, penerapan standar SPLN dan IEC digunakan sebagai acuan validasi kualitas teknis pekerjaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan umum dalam proyek-proyek infrastruktur energi terbarukan yang penulis alami di lapangan meliputi keterlambatan logistik, ketidaksesuaian spesifikasi teknis, kurangnya kapasitas SDM lokal, dan kendala koordinasi antar pemangku kepentingan. Dalam proyek PLTS skala besar di wilayah timur Indonesia, misalnya, material seperti panel surya, inverter, dan struktur mounting yang berasal dari luar negeri kerap mengalami keterlambatan distribusi karena kendala pelabuhan dan keterbatasan armada angkut di daerah. Hal ini menyebabkan tahapan instalasi tidak dapat dilaksanakan sesuai jadwal awal, memengaruhi tahapan berikutnya seperti pengujian dan commissioning.

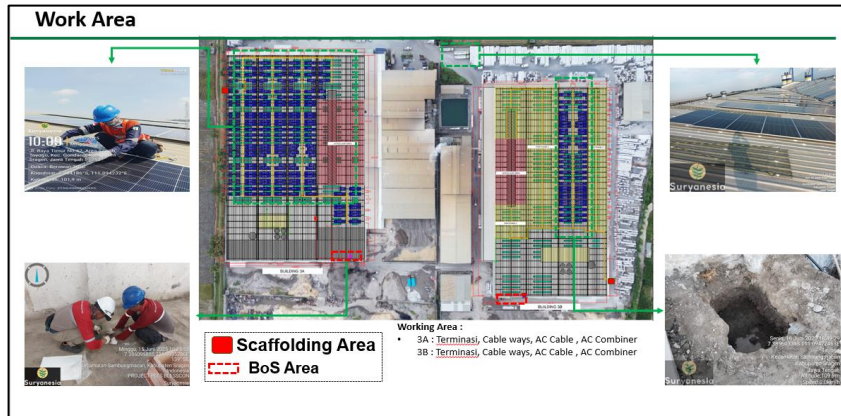
Dari sisi teknis, beberapa instalasi tidak memenuhi standar SPLN maupun IEC, misalnya penggunaan konektor kabel DC yang tidak memiliki ketahanan UV atau ketidaksesuaian jenis kabel untuk area korosif. Kurangnya pengetahuan teknis dari tenaga kerja lokal juga menyebabkan banyak pekerjaan harus diulang (*rework*), yang berdampak pada waktu dan biaya. Melalui pengamatan dan dokumentasi teknis, diketahui bahwa lebih dari 30% keterlambatan proyek diakibatkan oleh kegagalan dalam fase perencanaan teknis dan pengadaan. Di sisi lain, tantangan sosial seperti minimnya kapasitas SDM lokal mengenai proyek juga sering terjadi karena minimnya edukasi oleh tim proyek, terutama dalam proyek pembangunan instalasi PLTS rooftop di Indonesia.

Untuk mengatasi hal ini, penulis menerapkan pendekatan integratif, termasuk komunikasi awal yang intensif dengan manpower lokal, serta pelibatan kontraktor lokal dalam pelatihan teknis dasar sebelum pekerjaan dimulai. Hal ini terbukti efektif dalam meningkatkan akseptabilitas proyek dan mempercepat waktu penyelesaian karena tenaga kerja lokal menjadi lebih produktif dan bertanggung jawab atas hasil pekerjaan mereka.

Berdasarkan efektivitas pendekatan tersebut, sejumlah strategi implementatif selanjutnya dirumuskan untuk secara konsisten diterapkan di lapangan, diantaranya adalah strategi optimalisasi waktu penyelesaian proyek, peningkatan kualitas instalasi melalui penguatan sistem mutu, pengambilan keputusan lapangan dan adaptasi proyek, dan kolaborasi dan kepemimpinan dalam tim multidisiplin.

3.1 Strategi Optimalisasi Waktu Penyelesaian Proyek

Ketepatan waktu penyelesaian proyek merupakan indikator utama yang selalu ditekankan oleh pemilik proyek maupun instansi terkait, terutama untuk proyek-proyek megawatt PLTS Rooftop. Dalam proyek pembangunan PLTS Rooftop, penulis menggunakan pendekatan manajemen waktu berbasis *critical path method (CPM)* dan integrasi harian antara tim lapangan dan perencana. Setiap minggu dilakukan evaluasi progres pekerjaan dan penyesuaian aktivitas jika ada deviasi, disertai eskalasi kendala ke pihak manajemen atas secara cepat dan sistematis.



Gambar 3.
Pembagian Zona Kerja untuk Pelaksanaan Instalasi Secara Paralel

3.2. Peningkatan Kualitas Instalasi Melalui Penguatan Sistem Mutu

Kualitas instalasi adalah aspek yang sangat krusial dalam proyek infrastruktur energi. Kegagalan sistem akibat instalasi yang tidak sesuai standar dapat berakibat fatal tidak hanya bagi kinerja teknis proyek tetapi juga citra organisasi. Oleh karena itu, penulis merancang sistem kontrol mutu berlapis yang dimulai dari:

3.2.1 Pemeriksaan kualitas material masuk

Pemeriksaan kualitas material masuk merupakan tahapan kritis dalam proses instalasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Kegiatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen dan material yang digunakan telah memenuhi spesifikasi teknis yang disyaratkan, sesuai dengan standar mutu nasional maupun internasional. Dalam proyek PLTS, komponen utama seperti panel surya, inverter, kabel DC/AC, mounting structure, konektor MC4, AC/DC breaker, combiner box, grounding system, dan proteksi petir harus diperiksa secara menyeluruh sebelum dilakukan proses pemasangan

Sebagai contoh, dalam proyek PLTS 1.053 MWp di Tangerang, ditemukan bahwa surya yang diterima memiliki defect atau cacat secara visual dari datasheet. Dalam standar internasional seperti IEC 62548, dinyatakan bahwa panel PV harus dipastikan bebas dari kerusakan fisik dan memiliki ketahanan terhadap UV dan kelembaban. Oleh karena itu, proyek berskala besar biasanya melakukan visual inspection menggunakan form checklist terstandarisasi serta dilengkapi dokumentasi foto. Dengan sistem kontrol mutu yang ketat, panel tersebut dikembalikan ke vendor sebelum digunakan, menghindari kerugian teknis di kemudian hari.

Construction List		Construction Checklist		
		Rooftop		
		Installation Location		
1	No cracks on PV panel	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
2	No white or brown spot, bubble of air, moisture behind the glass	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
3	No broken back sheeting (white EVA), delamination	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
4	PV modules are connected with correct polarity	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
5	No damaged or misaligned PV modules in the array	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
6	PV connectors are installed as per the manufacturer's instructions and are fully engaged	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
7	PV module connectors are not exposed	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
8	PV modules are properly grounded with lugs on each module	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
9	Checked surface temperature with IR camera/contactless thermometer	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
10	Checked rear junction box with IR camera/contactless thermometer	☐ Yes	☐ No	☐ N/A
11	Modules are installed according to manufacturer's guidelines and clamps are installed within the tolerance area	☐ Yes	☐ No	☐ N/A

Gambar 4.
Formulir Checklist Inspeksi Komponen Utama Sistem PLTS

3.2.2 Inspeksi bersama sebelum dan sesudah instalasi.

Inspeksi bersama (joint inspection) merupakan prosedur penting dalam memastikan bahwa setiap tahapan kerja dalam proyek PLTS telah dilakukan sesuai spesifikasi desain, standar teknis, dan prinsip keselamatan kerja. Dalam praktik terbaik proyek konstruksi, inspeksi bersama dilakukan dua kali: sebelum instalasi dimulai (pre-installation inspection) dan setelah instalasi selesai (post-installation inspection). Tujuannya adalah untuk menjamin kesiapan lokasi, kesesuaian metode kerja, serta kelayakan hasil pekerjaan sebelum tahapan selanjutnya dilanjutkan.

Pada tahap pre-installation inspection, tim pengawas, pelaksana, dan perwakilan pemilik proyek melakukan pemeriksaan terhadap area kerja, struktur atap (pada proyek rooftop), titik-titik pemasangan komponen PV, panel distribusi, grounding point, dan jalur kabel. Inspeksi ini juga memastikan bahwa semua personel memahami metode kerja, alat bantu yang digunakan (perancah, APD, lifting tool), serta bahwa material telah siap di lokasi sesuai jadwal. Dengan demikian, proses instalasi bisa berjalan lebih lancar dan risiko kegagalan teknis dapat diminimalisasi.



Gambar 5.

Pelaksanaan Joint Inspection Sebelum dan Sesudah Instalasi PLTS

Setelah proses instalasi selesai, dilakukan post-installation inspection. Dalam tahapan ini, semua instalasi diperiksa kembali oleh tim gabungan untuk mengevaluasi apakah pekerjaan telah memenuhi standar mutu teknis. Inspeksi mencakup pengecekan:

- a) Kesesuaian Design.
- b) Kerapihan jalur kabel (tray, conduit, cable tie).
- c) Kekuatan dan kelurusan struktur mounting.
- d) Torsi pengencangan baut (menggunakan torque wrench).
- e) Konektivitas antar panel dan sistem grounding.

3.2.3 Checklist harian oleh supervisor teknis.

Checklist harian oleh supervisor teknis adalah salah satu pilar utama dalam sistem pengendalian mutu (quality control) harian proyek PLTS. Aktivitas ini berfungsi sebagai sistem pemantauan langsung terhadap pelaksanaan instalasi di lapangan, untuk memastikan bahwa setiap tahapan pekerjaan dilakukan sesuai dengan prosedur kerja, standar teknis, dan target kualitas yang telah ditetapkan dalam dokumen proyek (seperti RKS, Quality Plan, atau Method Statement).

Fungsi utama dari checklist harian adalah melakukan verifikasi kualitas pelaksanaan secara real-time, memberikan umpan balik cepat kepada pelaksana lapangan, serta mencatat segala penyimpangan (non-conformance) untuk segera ditindaklanjuti. Dengan melakukan inspeksi harian secara konsisten, supervisor teknis dapat mencegah kesalahan kecil berkembang menjadi masalah besar yang mempengaruhi performa dan keselamatan sistem secara keseluruhan.

Isi dari checklist harian sangat tergantung pada jenis pekerjaan yang dilakukan hari itu. Misalnya, saat instalasi struktur mounting, supervisor akan mencatat:

- Kesesuaian jarak antar rail dengan desain layout PV.
- Kondisi kekencangan baut dan pemakaian torque wrench.
- Kualitas galvanisasi atau anti-korosi pada struktur.
- Kondisi permukaan atap atau pondasi tempat struktur dipasang.



Mounting Inspection - Tunas Alfin			
Jarak Rail PV			
Building	Design	Actual	Jarak Rail antar Table
P1			
	1300mm	1350mm	1080mm
P2			
	1300mm	1350mm	1080mm
P3			
	1300mm	1300mm	1030mm

Gambar 6.

Checlist Pemeriksaan Harian oleh Supervisor Teknis Instalasi Mounting

3.2.4 Pre-commissioning dan Commissioning

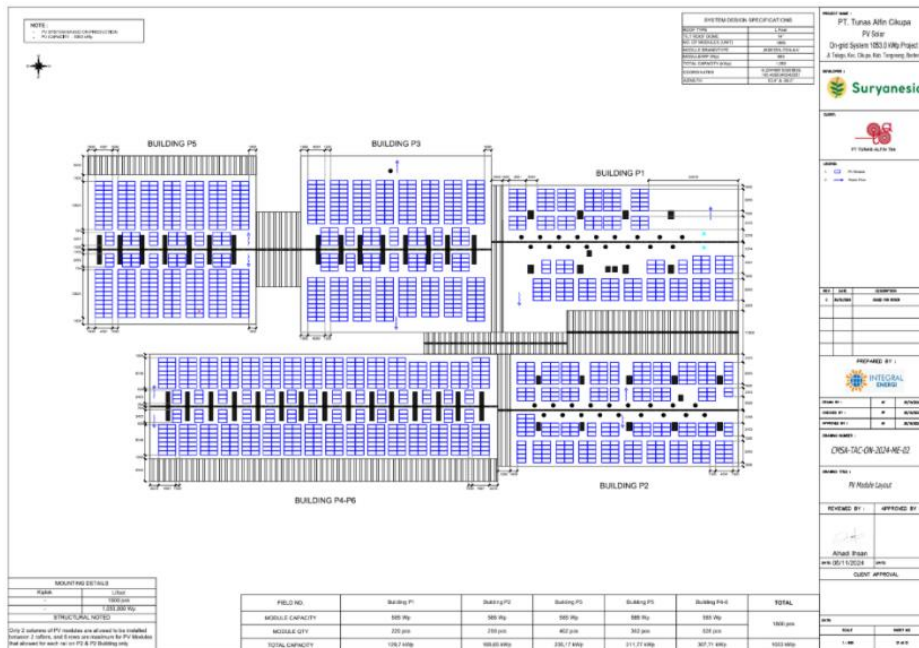
Pre-commissioning dan Commissioning merupakan tahapan paling krusial dalam sistem manajemen mutu proyek PLTS. Proses ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem telah terpasang sesuai desain, dapat beroperasi dengan aman dan efisien, serta memenuhi standar teknis nasional dan internasional. Tujuan utama dari commissioning akhir adalah untuk memverifikasi integritas dan performa seluruh komponen sistem secara terintegrasi. Seluruh hasil instalasi baik itu panel PV, inverter, sistem proteksi, grounding, hingga monitoring harus berfungsi sebagai satu kesatuan sistem tenaga surya yang handal. Oleh karena itu, commissioning bukan hanya pemeriksaan visual, tetapi mencakup pengujian fungsional (functional testing), pengukuran parameter listrik, serta evaluasi performa sistem terhadap parameter desain.

Hasil commissioning ini kemudian dimasukkan dalam Commissioning Report, yang ditandatangani oleh semua pihak yang hadir (kontraktor, pengawas, konsultan, dan pemilik proyek). Jika ada temuan, maka sistem tidak dinyatakan “berhasil commissioning” sampai seluruh temuan ditindaklanjuti dan dilakukan uji ulang.

3.3 Pengambilan Keputusan Lapangan dan Adaptasi Proyek

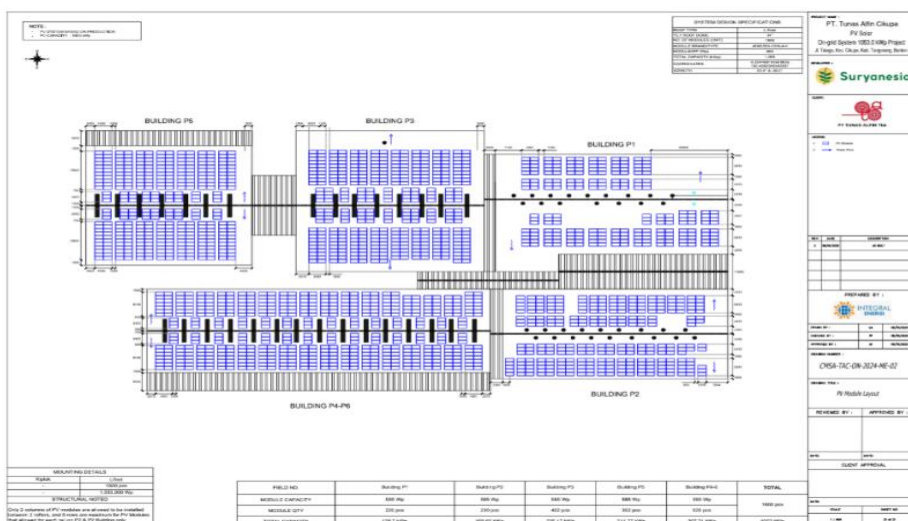
Salah satu kekuatan utama dari praktik keinsinyuran yang sukses di proyek energi terbarukan adalah kemampuan untuk mengambil keputusan teknis secara cepat dan tepat di lapangan. Tidak jarang kondisi aktual berbeda dengan rencana awal. Misalnya, pada proyek PLTS Rooftop di area pabrik yang menghasilkan suhu panas, layout PV modul yang awalnya direncanakan harus dimodifikasi karena menghindari area panas. Penulis

melakukan assessment untuk mencari lokasi penempatan PV yang baru dan mempertimbangkan segala dampak yang terjadi. Kemudian, tim melakukan re-layout PV dengan penyesuaian ukuran mounting dan wiring PV, yang membutuhkan redesign mounting dan rail. Dalam waktu satu minggu, desain baru disetujui dan pekerjaan tetap berjalan tanpa penundaan signifikan.



Gambar 7.

Desain Awal Layout Modul PV pada Proyek Rooftop Industri



Gambar 8.

Layout Modul PV Setelah Dilakukan Re-layout Berdasarkan Kondisi Lapangan

3.4 Kolaborasi dan Kepemimpinan dalam Tim Multidisiplin

Proyek energi terbarukan melibatkan banyak pihak: EPC contractor, Developer, pengawas, pemerintah daerah, hingga masyarakat. Penulis menerapkan pendekatan kepemimpinan kolaboratif, dimana seluruh tim proyek diberikan pemahaman yang sama tentang tujuan dan urgensi proyek melalui weekly briefing dan pelatihan onsite. Dalam proyek PLTS di Cikarang, hal ini berhasil meningkatkan produktivitas tenaga kerja lokal yang sebelumnya enggan bekerja dengan standar keselamatan tinggi.

Dengan menerapkan sistem *performance-based monitoring*, di mana hasil kerja setiap tim dinilai berdasarkan mutu dan kecepatan, muncul motivasi internal untuk meningkatkan performa. Pendekatan ini juga didukung dengan penghargaan mingguan untuk tim terbaik, yang terbukti meningkatkan kualitas dan memperkuat budaya kerja profesional di lapangan.



Gambar 9.

Briefing dan Kolaborasi Lapangan Antara Pemangku Kepentingan Proyek PLTS

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan studi praktik keinsinyuran yang dilakukan dalam proyek-proyek infrastruktur energi terbarukan di berbagai wilayah Indonesia, dapat disimpulkan bahwa:

1. Ketepatan waktu penyelesaian proyek sangat bergantung pada kesiapan perencanaan teknis, ketepatan pengadaan, dan kemampuan tim proyek dalam beradaptasi terhadap dinamika lapangan. Penerapan pendekatan berbasis *critical path*, segmentasi pekerjaan, serta dukungan digitalisasi proses pelaporan terbukti mampu mempercepat waktu penyelesaian proyek.
2. Kualitas instalasi sistem PLTS dapat ditingkatkan secara signifikan melalui sistem kontrol mutu berlapis, pelatihan teknis berkala, dan penggunaan standar internasional sebagai acuan kerja. Penerapan sistem ini terbukti menurunkan tingkat pekerjaan ulang dan kegagalan sistem selama commissioning.
3. Praktik keinsinyuran yang adaptif dan solutif, termasuk pengambilan keputusan cepat di lapangan, modifikasi desain berdasarkan kondisi aktual, serta inovasi metode kerja memberikan dampak besar terhadap keberhasilan proyek secara keseluruhan.
4. Kepemimpinan kolaboratif dan keterlibatan stakeholder merupakan kunci dalam menciptakan proyek yang tidak hanya sukses secara teknis, tetapi juga berkelanjutan secara sosial. Pelibatan masyarakat sejak awal proyek meningkatkan akseptabilitas sosial dan mempercepat penyelesaian.

Dengan pendekatan yang integratif, berbasis pengalaman lapangan dan keinsinyuran praktis, proyek infrastruktur energi terbarukan dapat dikelola secara lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

4.2 Saran

Berdasarkan pengalaman dan analisis yang dilakukan, penulis memberikan saran berikut untuk peningkatan kinerja proyek energi terbarukan di Indonesia:

- a) Pemerintah dan pemilik proyek perlu mendorong penggunaan sistem manajemen proyek digital dan berbasis cloud untuk meningkatkan transparansi dan kecepatan koordinasi.
- b) Diperlukan standardisasi nasional terhadap mutu instalasi energi terbarukan, agar kualitas dan keselamatan sistem dapat lebih terjamin, terutama dalam proyek yang melibatkan banyak subkontraktor.
- c) Perlu dikembangkan program sertifikasi teknis tenaga kerja lokal di bidang instalasi PV agar produktivitas dan kualitas kerja meningkat.
- d) Pendekatan praktik keinsinyuran berbasis pengalaman harus lebih diakui dan dimasukkan dalam perencanaan kebijakan proyek, sehingga keputusan di lapangan dapat didukung secara struktural dan administratif.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Heravi, G., Coffey, V., & Trigunarsyah, B. (2018). Evaluating the factors affecting the delay in large construction projects: A case study of Iran. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(3), 318–337.
2. International Electrotechnical Commission. (2001). *IEC 60364: Low-voltage electrical installations*. Geneva, Switzerland: IEC.
3. International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 62548: Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements*. Geneva, Switzerland: IEC.
4. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Strategi Transisi Energi 2022–2030*. Jakarta: KESDM.
5. Munier, N. (2014). *Project management for environmental, construction and manufacturing engineers: A manual for putting theory into practice*. Springer.
6. Perusahaan Listrik Negara. (2020). *SPLN D3.005: Standar instalasi sistem PV terhubung jaringan tegangan rendah dan menengah*. Jakarta: PLN.
7. Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth edition*. Project Management Institute.
8. Rahman, A., Setiawan, E. A., & Ridwan, M. (2020). Analisis faktor-faktor penghambat pembangunan infrastruktur energi di daerah terpencil. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur dan Teknologi*, 6(2), 55–64.
9. Widodo, A., & Kusnandar, K. (2021). Strategi peningkatan kualitas proyek PLTS off-grid di kawasan 3T. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 10(1), 22–34.
10. Yulistya, D., & Prasetyo, T. H. (2019). Studi efektivitas penggunaan tenaga kerja lokal dalam proyek infrastruktur kelistrikan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 14(3), 135–142.