

EVALUASI KUALITAS TIANG BETON LISTRIK MELALUI PENGUJIAN DIMENSI, BERAT, KELURUSAN, PEMBUMIAN, LENTUR, DEFLEKSI PERMANEN, DAN KEKUATAN PATAH

Muhammad Bobi Syahputra ^{1*}, Hasan Basri²

¹² Universitas Sriwijaya

*Bobisyahputra1697@gmail.com

Abstract

Prestressed concrete poles are an important element in the electric power distribution system that must meet quality standards to ensure their stability and safety. This study aims to evaluate the quality of prestressed concrete piles through a series of tests that include dimensions, weight, straightness, bending, permanent deflection, breaking strength, grounding, and material quality. The research method involves laboratory testing on concrete pile samples taken from PT Maxima Daya Indonesia, with tools and instruments that are in accordance with standards. The results show that the concrete pile meets all the set requirements, with dimensions, weight, and straightness that conform to the standards, as well as optimal bending and permanent deflection capabilities. The pole is able to withstand loads up to high breaking strength with a safety factor that exceeds the minimum standard. Grounding testing also shows very low resistance, ensuring operational safety. The quality of the materials, including concrete and prestressed steel, also meets the required standards. In conclusion, the tested prestressed concrete poles are of excellent quality and reliable for use in electric power distribution systems. This research makes an important contribution to the development of concrete pile quality standards in the electricity industry.

Keyword: *Prestressed Concrete Pile, Testing, Electric Power Distribution.*

Abstrak

Tiang beton pratekan merupakan elemen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik yang harus memenuhi standar mutu untuk menjamin kestabilan dan keamanannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas tiang beton pratekan melalui serangkaian pengujian yang mencakup dimensi, berat, kelurusan, lentur, defleksi permanen, kekuatan patah, pembumian, dan mutu bahan. Metode penelitian melibatkan pengujian laboratorium pada sampel tiang beton yang diambil dari PT Maxima Daya Indonesia, dengan alat dan instrumen yang sesuai standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiang beton memenuhi semua persyaratan yang ditetapkan, dengan dimensi, berat, dan kelurusan yang sesuai standar, serta kemampuan lentur dan defleksi permanen yang optimal. Tiang mampu menahan beban hingga kekuatan patah yang tinggi dengan faktor keamanan yang melebihi standar minimum. Pengujian pembumian juga menunjukkan resistansi yang sangat rendah, memastikan keamanan operasional. Kualitas material, termasuk beton dan baja pratekan, juga memenuhi standar yang diperlukan. Kesimpulannya, tiang beton pratekan yang diuji memiliki kualitas yang sangat baik dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik. Penelitian ini memberikan kontribusi penting untuk pengembangan standar mutu tiang beton di industri listrik.

Kata kunci : Tiang Beton Pratekan, Pengujian, Distribusi Tenaga Listrik.

Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan infrastruktur vital dalam mendukung berbagai aktivitas masyarakat modern, mulai dari kebutuhan rumah tangga, industri, hingga fasilitas umum. Salah satu elemen utama dalam sistem ini adalah tiang beton listrik, yang berfungsi sebagai penopang kabel dan perangkat listrik untuk memastikan aliran listrik dapat tersalurkan secara efisien dan aman (Grondzik & Kwok, 2014). Sebagai elemen yang bersifat struktural, tiang beton tidak hanya harus memenuhi persyaratan teknis tetapi juga mampu bertahan dalam berbagai kondisi operasional, seperti beban mekanis, cuaca ekstrem, dan gangguan lingkungan. Oleh karena itu, kualitas tiang beton listrik menjadi kunci utama dalam menjaga keandalan dan keamanan jaringan distribusi listrik (Irwansyah, 2024).

Tiang beton listrik diproduksi melalui serangkaian proses yang harus memenuhi standar tertentu, mulai dari pemilihan material, desain struktur, hingga metode produksi. Namun, dalam praktiknya, beberapa kasus kegagalan struktural pada tiang beton masih sering terjadi. Kegagalan ini dapat disebabkan oleh dimensi yang tidak presisi, berat yang tidak sesuai, atau kelurusan yang tidak memenuhi toleransi desain (Pranoto & Setiabudi, 2017). Selain itu, kemampuan pembumian yang buruk dapat meningkatkan risiko bahaya listrik, sedangkan kelemahan pada sifat mekanis, seperti lentur, defleksi permanen, dan kekuatan terhadap patahan, dapat menyebabkan tiang tidak mampu menahan beban operasional atau gaya eksternal. Kegagalan ini tidak hanya mengakibatkan gangguan operasional tetapi juga berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan dan membahayakan keselamatan publik (Gusty et al., 2024).

Untuk memastikan kualitas tiang beton listrik, diperlukan pengujian menyeluruh yang mencakup berbagai aspek teknis. Pengujian dimensi dan berat dilakukan untuk menilai kesesuaian spesifikasi produk dengan standar yang berlaku, sementara pengujian kelurusan bertujuan untuk memastikan stabilitas struktural tiang. Kemampuan pembumian juga menjadi indikator penting dalam menjaga keamanan operasional, terutama dalam mengalirkan arus listrik ke tanah. Sementara itu, pengujian sifat mekanis, seperti lentur dan defleksi permanen, memberikan gambaran tentang elastisitas dan deformasi tiang, sedangkan pengujian kekuatan patah bertujuan untuk mengetahui batas maksimal beban yang dapat ditahan sebelum tiang mengalami kerusakan total (Hidayat et al., 2016).

Melalui penelitian ini, dilakukan serangkaian pengujian laboratorium dengan pendekatan yang sesuai standar untuk mengevaluasi kualitas tiang beton listrik secara komprehensif. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut tidak hanya menjadi acuan dalam menilai mutu tiang beton, tetapi juga dapat digunakan untuk memberikan rekomendasi teknis dalam proses produksi, desain, dan pengembangan standar mutu yang lebih baik. Dengan meningkatkan kualitas tiang beton listrik, diharapkan distribusi tenaga listrik menjadi lebih andal, efisien, dan aman, sehingga mampu memenuhi kebutuhan masyarakat dan mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kesesuaian dimensi, berat, dan kelurusan tiang beton listrik dengan standar yang berlaku, menilai efektivitas sistem pembumian, serta menguji kemampuan lentur, defleksi permanen, dan

kekuatan patah tiang beton listrik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan infrastruktur distribusi listrik yang lebih berkualitas dan mengurangi risiko kegagalan struktural di masa depan.

Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas tiang beton pratekan melalui serangkaian pengujian laboratorium yang sistematis. Pendekatan yang digunakan mencakup metode fisik dan mekanis yang sesuai dengan spesifikasi standar SPLN D3.019-2:2021 dan SPLN D3.019-2/SUP-2:2022. Semua pengujian dilakukan untuk memastikan tiang beton memenuhi standar mutu yang ditetapkan, dengan fokus pada parameter-parameter kritis seperti dimensi, berat, kelurusan, pembumian, lentur, defleksi permanen, kekuatan patah, dan mutu bahan.

Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian langsung pada sampel tiang beton yang diambil dari PT Maxima Daya Indonesia, dengan lokasi pabrik di Palembang, Sumatera Selatan. Pengujian berlangsung di laboratorium uji material yang dilengkapi peralatan modern, pada periode 16 hingga 25 Januari 2024. Proses pengumpulan data dimulai dari pemeriksaan visual untuk menilai kondisi permukaan tiang, memastikan tidak ada retakan, serta memverifikasi keberadaan penandaan sesuai standar. Selanjutnya, pengukuran dimensi dilakukan menggunakan jangka sorong dan meteran presisi, sementara berat ditentukan menggunakan timbangan digital.

Pengujian kelurusan dilakukan dengan perangkat *laser alignment*, yang memastikan tiang tidak mengalami deformasi struktural. Untuk menguji karakteristik mekanis, pengujian lentur dilakukan dengan membebani tiang secara bertahap hingga mencapai batas elastisitas, dan dilanjutkan dengan pengukuran defleksi permanen setelah beban dilepaskan. Pengujian kekuatan patah dilakukan dengan memberikan beban maksimal untuk menentukan kemampuan tiang menahan gaya sebelum mengalami kerusakan total. Sementara itu, pengujian pembumian menggunakan *earth tester* untuk mengukur resistansi, dengan tujuan memastikan keamanan penghantaran arus listrik ke tanah.

Beragam instrumen digunakan untuk mendukung keakuratan pengujian. Instrumen utama meliputi jangka sorong dan meteran untuk pengukuran dimensi, timbangan digital untuk berat, dan perangkat *laser alignment* untuk kelurusan. Mesin uji lentur digunakan untuk pengukuran batas elastisitas dan deformasi permanen, sementara mesin uji kekuatan patah menentukan kapasitas maksimal tiang. *Earth tester* digunakan dalam pengujian pembumian, dan alat uji agregat serta beton digunakan untuk mengevaluasi mutu bahan, seperti kadar lumpur dalam agregat, kuat tekan beton, dan kualitas baja pratekan.

Hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk menentukan apakah sampel memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam standar. Analisis data melibatkan perbandingan hasil pengujian dengan nilai spesifikasi, misalnya pada parameter dimensi, berat, kelurusan, dan mutu bahan. Setiap hasil pengujian yang tidak memenuhi kriteria dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebabnya dan memberikan rekomendasi perbaikan. Data disajikan dalam bentuk tabel dan

grafik untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas. Metode penelitian ini dirancang untuk menghasilkan evaluasi komprehensif terhadap kualitas tiang beton pratekan, sekaligus memberikan dasar ilmiah bagi peningkatan mutu produk dan pengembangan standar yang lebih baik. Kombinasi pengujian laboratorium dan analisis data yang terstruktur memastikan bahwa hasil penelitian dapat diandalkan untuk mendukung keandalan sistem distribusi listrik.

Hasil Penelitian

Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual menunjukkan bahwa tiang beton pratekan memiliki permukaan yang baik, tidak retak, dan lurus sesuai dengan spesifikasi. Penandaan yang diwajibkan seperti nama pabrikan, tipe tiang, nomor produksi, tanggal pembuatan, garis batas tanam, serta tanda berat telah tersedia sesuai standar. Terminal pbumian pada tiang dilapisi bahan pelindung anti-karat untuk menjaga daya tahan terhadap korosi. Hasil ini memastikan bahwa aspek visual dan identifikasi tiang telah memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk keandalan dan kemudahan inspeksi lapangan.

Pengujian Dimensi dan Berat

Dimensi merupakan indikator utama dalam menilai apakah tiang sesuai dengan spesifikasi desain. Hasil pengujian pada Tabel 1. dan Tabel 2. menunjukkan bahwa panjang tiang 11.000 mm berada dalam rentang toleransi (10.980-11.030 mm). Diameter atas dan bawah tiang, masing-masing 192 mm dan 340 mm, juga sesuai dengan standar (batas toleransi ± 2 mm). Berat rata-rata tiang sebesar 1.221 kg mendekati berat nominal yang ditetapkan pabrikan. Dimensi dan berat yang sesuai memastikan tiang tidak hanya memenuhi kebutuhan kekuatan struktural tetapi juga mempermudah transportasi dan pemasangan di lapangan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Dimensi

No.	Bagian	Hasil ukur [mm]			Persyaratan standar [mm]	
		PLN030300 000103330 23006001 / 01-12-2023	PLN030300 000103330 23006002 / 03-12-2023	PLN030300 000103330 23006003 / 04-12-2023		
1.	Panjang	11000	11000	11000	Nom	11000
					Mih	10980
					Maks	11030
2.	Diameter atas	192	192	192	Nom	190
					Min	188
					Maks	194
3.	Diamater bawah	340	338	337	Nom	337
					Min	335
					Maks	341
4.	Tebai beton					
	- bagian atas	40	50	46	Nom	-
	- bagian bawah	56	59	61		
5.	Tebai lapisan beton (antara permukaan luar - baja					
	- bagian atas	17	18	20	Min	15
	- bagian bawah	29	28	28	Min	15

Sumber: Laporan Pengujian *Test Report* PT. Maxima Daya Indonesia (2024)

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat

No.	Bagian	Hasil ukur [kg]			Spesifikasi pabrikan
		1	2	3	
1.	Tiangtotal	1.250	1.201	1.213	Nom : -
		rata-rata . 1.221			

Sumber: Laporan Pengujian *Test Report* PT. Maxima Daya Indonesia (2024)

Pengujian Kelurusan

Kelurusan tiang diuji untuk memastikan distribusi gaya yang merata ketika tiang menerima beban. Hasil pada Tabel 3. menunjukkan deviasi maksimal sebesar 8 mm, jauh di bawah batas toleransi 22 mm. Tiang dengan kelurusan yang baik akan memiliki kestabilan yang lebih tinggi, mengurangi kemungkinan kegagalan struktural akibat gaya tidak merata selama operasional. Kelurusan yang ideal juga mempermudah proses instalasi, terutama ketika tiang dipasang pada posisi tegak lurus (Diniaty, 2016).

Tabel 3. Hasil Pengujian Kelurusan

No.	Bagian	Hasil ukur [mm]			Persyaratan	standar mm
		1	2	3		
1.	Kelurusan	4	8	8	Maks	22

Sumber: Laporan Pengujian *Test Report* PT. Maxima Daya Indonesia (2024)

Pengujian Pembumian

Kemampuan pembumian diuji dengan mengukur resistansi terminal pembumian. Hasil pada Tabel 4. menunjukkan resistansi sebesar $1,32 \times 10^{-3}$ Ohm/m pada suhu 27°C , yang berada dalam ambang batas standar. Pembumian yang efektif penting untuk mengurangi risiko bahaya listrik akibat petir atau lonjakan arus. Terminal pembumian yang dilengkapi pelindung anti-karat dan diisi gemuk juga menjamin daya tahan terhadap lingkungan korosif, sehingga meningkatkan keandalan sistem pembumian dalam jangka panjang

Tabel 4. Hasil Pengujian Pembumian

No.	Bagian	Hasil ukur	Persyaratan	standar
1.	Diameter besi (mm)	16	Nom	16
2.	Diameter baut (mm)	12	Nom	12
3.	Resistance konduktor pada 27°C (Ohm/m)	$1,32 \times 10^{-3}$	Maks.	5×10^{-3}

Sumber: Laporan Pengujian *Test Report* PT. Maxima Daya Indonesia (2024)

Pengujian Lentur dan Defleksi Permanen

Kemampuan lentur merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kelayakan tiang beton. Hasil pengujian pada Tabel 5. menunjukkan bahwa tiang mampu menahan beban hingga 100% kapasitas kerja tanpa mengalami retak. Lenturan maksimum yang tercatat sebesar 6 mm dan defleksi permanen hanya 2 mm setelah beban dilepaskan. Hal ini menunjukkan bahwa tiang memiliki elastisitas yang baik, sehingga mampu kembali ke bentuk semula tanpa deformasi yang signifikan. Elastisitas dan daya tahan terhadap lentur memastikan bahwa tiang dapat berfungsi secara optimal, bahkan saat menerima gaya angin atau tekanan beban tak terduga lainnya.

Tabel 5. Hasil Pengujian Lentur dan Defleksi Permanen

No. contoh	Lenturan (6) dan lenturan permanen (6p) [mm] pada beban kerja:							
	60%		80%		100%	150%		
	δ	δp	δ	δp			δ	kondisi tiang
PLN03030000010333 023006001 / 01-122023	30	1,5	41	2,5	52	tidak retak	3,5	83
PLN03030000010333 023006002 / 03-122023	29	2,0	39		51	tidak retak	3,5	79
PLN03030000010333 023006003 / 04-122023	28	2,0	39		49	tidak retak	4,0	81
Persyaratan standar						Tidak retak		Ditahan 2 menit $\delta p \leq 22$

Sumber: Laporan Pengujian *Test Report* PT. Maxima Daya Indonesia (2024)

Pengujian Kekuatan Patah

Tiang beton diuji hingga mencapai kekuatan patah untuk menilai kemampuan maksimalnya. Pada tabel 6. Menunjukkan bahwa beban rata-rata yang dapat ditahan sebelum patah adalah 828 daN dengan faktor keamanan sebesar 4,17, jauh di atas persyaratan minimum sebesar 2. Hal ini menunjukkan bahwa tiang memiliki margin kekuatan yang cukup untuk mengantisipasi gaya-gaya ekstrem, seperti angin kencang atau getaran dari aktivitas seismik. Faktor keamanan yang tinggi menjadi jaminan keandalan tiang dalam berbagai kondisi operasional.

Tabel 6. Hasil Pengujian Patah

No. Contoh	Lenturan [mm] pada beban kerja									Beban patah [daN]	Faktor keamanan
	120 %	130 %	140 %	150 %	160 %	170 %	180 %	190 %	200 %		
PLN0303000001033 302 3006001 / 01-12-2023	68	77	84	88	94	104	108	114	126	825	4,13
PLN0303000001033 302 3006002 / 03-12-2023	65	75	80	85	94	98	104	110	119	840	4,20
PLN0303000001033 302 3006003 / 04-12-2023						100	109	116	124	820	4,10
Persyaratan standar										≥ 400	≥ 2

Sumber: Laporan Pengujian *Test Report* PT. Maxima Daya Indonesia (2024)

Pengujian Mutu Bahan

Mutu material yang digunakan dalam pembuatan tiang diuji untuk memastikan sesuai dengan spesifikasi. Kuat tekan beton pada umur 28 hari mencapai 532 kg/cm^2 (kubus) dan 415 kg/cm^2 (silinder), melebihi standar minimum. Kandungan lumpur dalam agregat kasar sebesar 0,178% dan agregat halus sebesar 0,521%, yang berada di bawah batas maksimum masing-masing 1% dan 5%. Baja pratekan memiliki kuat tarik rata-rata 161 kg/mm^2 dan pemuluran 7,6%, juga memenuhi standar minimum. Mutu bahan yang baik memastikan daya tahan dan umur pakai tiang beton lebih panjang, bahkan dalam kondisi lingkungan yang keras.

Tabel 7. Hasil Pengujian Bahan

No.	Jenis bahan	Hasil pengujian	Persyaratan standar
1.	Air untuk adukan dan perawatan	Baik	SNI 7974 : 2013
2.	Pasir Spesifikasi agregat halus Kadar lumpur terhadap berat kering [%]	0,521	SNI 8321 : 2016 ≤ 5
3.	Kerikil Spesifikasi agregat kasar Kadar lumpur terhadap berat kering [%]	0,178	SNI 8321 : 2016 ≤ 1
4.	Baja beton pratekan · Kuat tarik [kg/mm^2] · Pemuluran [%]	161 7,6	≥ 145 ≥ 5
5.	Mutu beton Kuat tekan pada umur 28 hari [kg/cm^2]	Kubus, 532	Kubus : ≥ 500 Silinder : ≥ 415

Sumber: Laporan Pengujian *Test Report* PT. Maxima Daya Indonesia (2024).

Pembahasan

Dimensi dan berat tiang yang sesuai memastikan bahwa produk ini tidak hanya memenuhi standar desain tetapi juga mendukung stabilitas struktural. Tiang dengan dimensi yang tepat mendistribusikan beban secara merata, mencegah potensi deformasi atau kegagalan pada saat dipasang maupun saat menerima tekanan eksternal. Berat yang proporsional juga penting untuk mempertahankan kestabilan saat terpapar angin kencang atau beban vertikal dari perangkat yang digantungkan.

Kelurusan adalah aspek penting yang menentukan stabilitas keseluruhan struktur. Tiang dengan deviasi kelurusan rendah, seperti yang tercatat dalam penelitian ini, meminimalkan distribusi beban yang tidak merata, sehingga memperpanjang masa pakai tiang. Kelurusan juga memengaruhi efisiensi pemasangan, di mana tiang dengan kelurusan yang baik lebih mudah dipasang dengan presisi tinggi (Diniaty, 2016).

Kemampuan tiang untuk kembali ke bentuk awal setelah menerima beban menunjukkan bahwa bahan dan desainnya memiliki karakteristik elastisitas yang baik. Defleksi permanen yang rendah menjadi indikator bahwa tiang mampu mempertahankan integritas strukturalnya meskipun menerima tekanan berulang. Hal ini penting untuk menjaga kinerja optimal dalam jangka panjang (Holmes,

2019). Faktor keamanan yang tinggi menunjukkan bahwa tiang memiliki kapasitas tambahan untuk menghadapi beban-beban ekstrem. Hal ini menjadi nilai tambah khususnya di wilayah rawan bencana seperti gempa atau badai, di mana tiang perlu memiliki daya tahan ekstra untuk mengurangi risiko kerusakan. Resistansi pembumian yang rendah memastikan bahwa arus listrik dapat dialirkan ke tanah dengan aman, mengurangi risiko kerusakan peralatan dan bahaya terhadap manusia. Penggunaan terminal dengan bahan berkualitas tinggi yang tahan korosi memastikan pembumian tetap efektif selama umur pakai tiang (Farhan et al., 2024).

Hasil pengujian material menunjukkan bahwa bahan yang digunakan telah memenuhi atau melampaui standar yang ditetapkan. Kuat tekan beton yang tinggi memastikan daya dukung yang optimal, sementara mutu agregat dan baja pratekan yang baik memberikan jaminan kekuatan dan ketahanan terhadap lingkungan yang ekstrem.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, tiang beton pratekan yang diuji menunjukkan kualitas yang sangat baik dan sepenuhnya memenuhi semua persyaratan standar yang ditetapkan. Dimensi dan berat tiang berada dalam batas toleransi yang telah ditentukan, memastikan kestabilan struktural yang optimal, sementara kelurusan tiang juga sesuai dengan spesifikasi, yang memungkinkan distribusi beban merata dan mempermudah proses instalasi. Tiang beton ini memiliki kemampuan menahan beban lentur hingga kapasitas maksimum tanpa mengalami keretakan, dengan defleksi permanen yang rendah, menunjukkan daya elastisitas yang sangat baik. Hasil pengujian kekuatan patah menunjukkan faktor keamanan yang jauh di atas standar, menjamin ketahanan terhadap beban ekstrem. Resistansi pembumian yang rendah juga memastikan tiang berfungsi dengan aman dalam sistem distribusi tenaga listrik, mendukung keandalan operasional secara keseluruhan. Kualitas material yang digunakan, baik beton maupun baja pratekan, memenuhi atau bahkan melampaui standar yang berlaku, memberikan jaminan kekuatan, ketahanan, dan umur panjang bagi tiang beton pratekan ini.

Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa tiang beton pratekan dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik dengan tingkat keandalan tinggi, baik dalam kondisi operasional normal maupun ekstrem. Hal ini memberikan keyakinan kepada pengguna bahwa produk ini tidak hanya aman tetapi juga efisien dalam mendukung distribusi energi listrik. Penelitian ini juga memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan standar mutu tiang beton listrik. Standar ini dapat dijadikan acuan untuk meningkatkan proses produksi, mulai dari pemilihan material hingga kontrol kualitas selama pembuatan, sehingga menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten.

Sebagai saran, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada simulasi jangka panjang untuk mengkaji ketahanan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, seperti korosi akibat kelembaban tinggi atau paparan kimia di area industri. Selain itu, integrasi teknologi monitoring cerdas berbasis sensor pada tiang beton dapat dipertimbangkan untuk memberikan data real-time terkait kondisi struktural dan beban yang diterima. Langkah ini akan meningkatkan efisiensi pemeliharaan dan

memperpanjang umur penggunaan tiang. Pelatihan kepada tenaga kerja terkait teknik pemasangan dan inspeksi yang sesuai standar juga penting untuk memastikan tiang ini digunakan secara optimal. Dengan langkah-langkah ini, tiang beton pratekan tidak hanya memenuhi kebutuhan saat ini tetapi juga menjadi solusi jangka panjang untuk sistem distribusi listrik yang lebih aman dan efisien.

Daftar Pustaka

- Al Farhan, S., Monika, D., & Nadhiroh, N. (2024). Pemasangan Sistem Pembumian pada Instalasi Listrik Balai RW 03 Beji Timur. *Electrices*, 6(2), 28–34. <https://jurnal.pnj.ac.id/index.php/electrices/article/view/7008/3370>
- Cosgun, S. I., Kaya, A., & Gencturk, B. (2023). Computational modeling of the axial behavior of corroded and buckled short steel piles strengthened using concrete-filled GFRP jackets. *Engineering Failure Analysis*, 147, 107147. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107147>
- De Simone Souza, H. H., Lima, Â. M. F., Esquerre, K. O., & Kiperstok, A. (2017). Life cycle assessment of the environmental influence of wooden and concrete utility poles based on service lifetime. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 2030–2041. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1293-z>
- Diniaty, D. (2016). Analisis kecacatan produk tiang listrik beton menggunakan metode seven tools dan new seven tools (Studi Kasus: Pt. Kunango Jantan). *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 2(2), 155–162. <http://dx.doi.org/10.24014/jti.v2i2.5102>
- Grondzik, W. T., & Kwok, A. G. (2014). *Mechanical and electrical equipment for buildings*. John Wiley & Sons.
- Gusty, S., Asriadi, M., Idrus, M., Iswady, I., Muslika, M., Yoom, L. I., Prabowo K, A., Maharani, A., Sunusi, W. A., & Fatmeriany, F. (2024). *Korosi dan Perlindungan Material*. Arsy Media.
- Holmes, D. P. (2019). Elasticity and stability of shape-shifting structures. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 40, 118–137. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2019.02.008>
- Irwansyah, I. M. (2024). *Rekayasa struktur beton bertulang inovasi dan studi kasus: buku referensi*. pt. media penerbit indonesia.
- Joto, R., & Marzuq, M. U. B. R. (2022). Analisis Perencanaan Sistem Jaringan Distribusi Listrik dan Perkembangan Beban Pada Perumahan The Grand Kenjeran Surabaya. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(3), 146–154. <https://doi.org/10.33795/elposys.v9i3.649>
- Kliukas, R., Daniunas, A., Gribniak, V., Lukoseviciene, O., Vanagas, E., & Patapavicius, A. (2018). Half a century of reinforced concrete electric poles maintenance: Inspection, field-testing, and performance assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(9), 1221–1232. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2017.1402068>
- Nadhiroh, N., Wardhany, A. K., & Mashudi, I. (2024). Analisis Perbandingan Nilai Resistansi Pembumian pada Beberapa Jenis Elektroda. *Seminar Nasional*

Teknik Elektro, 10(1), 136–141.
<https://prosiding.pnj.ac.id/SNTE/article/view/2430>
Pranoto, Y., & Setiabudi, R. (2017). Evaluasi penurunan gedung dan metode perbaikannya (studi kasus: kantor pos Balikpapan). *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 41. <http://dx.doi.org/10.22441/jtm.v6i2.11>