

1 1

JURNAL JTS

-  15S-A1-Informatik 160
-  27S-B1-Informatik 2 (Moodle PP)
-  FH Kärnten Gemeinnützige Gesellschaft mbH

Document Details

Submission ID**trn:oid::1:3494206506****Submission Date****Mar 1, 2026, 7:52 AM GMT+1****Download Date****Mar 1, 2026, 8:05 AM GMT+1****File Name****JTS-TIANG.docx****File Size****9.0 MB****17 Pages****6,140 Words****35,506 Characters**

8% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 8 words)

Exclusions

- 14 Excluded Matches

Top Sources

- 8%  Internet sources
 - 2%  Publications
 - 4%  Submitted works (Student Papers)
-

Top Sources

- 8% Internet sources
- 2% Publications
- 4% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	idoc.pub	<1%
2	Internet	repository.poliupg.ac.id	<1%
3	Student papers	Universitas Diponegoro	<1%
4	Internet	bintarwicaksono.blogspot.com	<1%
5	Student papers	Universitas Teknologi Sumbawa	<1%
6	Internet	id.123dok.com	<1%
7	Internet	www.slideshare.net	<1%
8	Internet	www.ejournal.warmadewa.ac.id	<1%
9	Internet	www.scribd.com	<1%
10	Internet	123dok.com	<1%
11	Student papers	Universitas Andalas	<1%

12	Internet	jurnal.unissula.ac.id	<1%
13	Internet	repo.bunghatta.ac.id	<1%
14	Internet	pdfcoffee.com	<1%
15	Student papers	Sultan Agung Islamic University	<1%
16	Internet	ojs.unud.ac.id	<1%
17	Internet	download.garuda.kemdikbud.go.id	<1%
18	Internet	ejournal.unikama.ac.id	<1%
19	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
20	Internet	www.coursehero.com	<1%
21	Internet	digilib.uns.ac.id	<1%
22	Internet	dspace.uir.ac.id	<1%
23	Internet	ebin.pub	<1%
24	Internet	income.id	<1%
25	Internet	journal.unilak.ac.id	<1%

26	Internet	jurnal.fte.uniba-bpn.ac.id	<1%
27	Internet	repository.petra.ac.id	<1%
28	Internet	undiknas.ac.id	<1%
29	Internet	vdocuments.mx	<1%

TREK ANGKER DI SAWAH BASAH MAMPU MEMPERKUAT PONDASI TIPE-C

I Wayan Jondra^a, I Made Dirgayusa^b, I Nyoman Sedana Triadi^c, Made Sudana^d, I Nengah Sunaya^e

^a Jurusan Teknik Elektro, wjondra@pnb.ac.id, Politeknik Negeri Bali, Kabupaten Badung, Bali, Indonesia

^b Jurusan Teknik Sipil, imadedirgayusa.drg@gmail.com, Politeknik Negeri Bali, Kabupaten Badung, Bali, Indonesia

^c Jurusan Teknik Sipil, nyomansedanatriadi@pnb.ac.id, Politeknik Negeri Bali, Kabupaten Badung, Bali, Indonesia

^d Jurusan Teknik Mesin, sudana@pnb.ac.id, Politeknik Negeri Bali, Kabupaten Badung, Bali, Indonesia

^e Jurusan Teknik Elektro, nengahsunaya@yahoo.co.id, Politeknik Negeri Bali, Kabupaten Badung, Bali, Indonesia

ABSTRACT

Now day Electrical energy consistently as an crucial role to support daily activities, so its the construction must be reliable, but incidents the corner pole construction failure also occur. It is very interesting to research, this case study to reveal the fulfillment of the technical requirements of electricity pole number NA0185 A7, to analyze the accuracy of its construction using a C-type foundation. Conducting by observations not just soil testing samples in the laboratory, but also directly in the field through sondir tests, then the data is processed statistically and mathematically. This study found that according to the technical requirements of electricity pole number NA0185 A7 constructed with a C-type pole foundation meets the technical standard and under normal condition this pole will not failure construction. This study found that on land eroded condition by irrigation water at the pole foundation base the maximum soil stress that occurs is 252.12 kN/m², this value is much smaller than the ultimate bearing capacity (Q_u) on 415.29 kN. This study also found that in wet rice fields the horizontal anchor ultimate capacity (T_{uH}) was 22.01 kilo Newtons, which is smaller than the horizontal force at the top of the pole, which reached 5.87 kilo Newtons, so that the anchor track would be able to protect against overturning forces. Since all technical factors have been researched and analyzed, it is reasonable to suspect that there were non-technical factors on June 21, 2021, because there was heavy rain accompanied by lightning and strong winds reaching 20 knots from the northeast) and the intensity of rain at 21.00 – 22.00 WITA was up to 25.3 mm/hour (Very Heavy), which caused the NA0185 A7 pole was down.

Keywords: CPT, Laboratory, technicaly, fondation.

Abstrak

Energi listrik konsisten memainkan peran krusial dalam kehidupan masyarakat masa kini untuk mendukung kegiatan sehari-hari, sehingga konstruksinya harus handal, namun kejadian dilapang kegagalan konstruksi tiang sudut juga terjadi. Menjadi sangat menarik penelitian studi kasus ini untuk mengungkap keterpenuhan syarat teknik tiang listrik nomor NA0185 A7, untuk menganalisis ketepatan konstruksinya menggunakan pondasi tipe-C. Dengan melakukan observasi tidak hanya menguji sampel tanah di laboratorium, namun juga langsung di lapangan melalui uji sondir, kemudian data-data tersebut diolah secara statistik dan matematik. Penelitian ini menemukan bahwa secara syarat teknik tiang listrik nomor NA0185 A7 yang dikonstruksi dengan pondasi tipe-C memenuhi syarat dan tidak akan mengalami gagal konstruksi dalam keadaan normal. Penelitian ini menemukan tegangan tanah maksimum yang terjadi pada dasar fondasi di tanah tergerus air irigasi adalah sebesar 252,12 kN/m², nilai tersebut jauh lebih kecil dibandingkan kapasitas dukung ultimit (Q_u) yang mencapai 415,29 kN. Penelitian ini juga menemukan kapasitas ultimit anker arah horizontal (T_{uH}) di tanah sawah basah diperoleh sebesar 22,01 kilo Newton, nilai tersebut lebih kecil dari gaya horisontal yang timbul di ujung tiang yang mencapai 5,87 kilo Newton, sehingga trek anker akan mampu menjaga dari gaya guling. Karena semua faktor teknis sudah diteliti dan dianalisis, patut diduga ada faktor-faktor non teknis pada tanggal 21 juni 2021, karena terjadi

Received Agustus 30, 2021; Revised September 2, 2021; Accepted September 22, 2021

4 hujan lebat disertai dengan petir dan angin kencang mencapai 20 knot dari arah timur laut) dan intensitas hujan pada jam 21.00 – 22.00 WITA terukur 25.3 mm/jam (**Sangat Lebat**), menjadi penyebab rubuhnya tiang listrik NA0185 A7.

Kata Kunci: sondir, laboratorium, teknis, pondasi.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik konsisten memainkan peran krusial dalam kehidupan masyarakat masa kini untuk mendukung kegiatan sehari-hari [1]. Listrik dimanfaatkan untuk penerangan, memasak, penyimpanan makanan (kulkas), serta berbagai kebutuhan rumah tangga lainnya. Hampir semua alat rumah tangga, termasuk televisi, pendingin udara, mesin cuci, dan komputer, sangat bergantung pada listrik, yang mendorong pertumbuhan ekonomi di sektor industri, perdagangan, dan pemukiman, baik di wilayah perkotaan maupun pedesaan. Dalam rangka mendukung kemajuan teknologi dan pendidikan, listrik juga diperlukan untuk perangkat pembelajaran seperti komputer, proyektor, dan laboratorium, serta akses internet. Semua ini tidak akan berfungsi tanpa adanya pasokan listrik, bersama dengan tuntutan lainnya di masyarakat [2]–[6]. Energi listrik adalah kebutuhan pokok dalam mendukung aktivitas masyarakat modern, sehingga pasokan listrik yang terpercaya, aman, dan berkelanjutan menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kemajuan pembangunan suatu wilayah. Namun beberapa kasus gangguan terhadap ketersediaan tenaga listrik sampai ke pelanggan mengalami gangguan. Gangguan dapat berasal dari internal sistem ada juga gangguan dari luar sistem.

26 Dalam struktur sistem kelistrikan nasional, PT PLN (Persero) memegang posisi penting sebagai penyedia energi listrik yang mencakup pembangkit, transmisi, dan distribusi listrik kepada pengguna. Jaringan distribusi listrik PLN adalah bagian terakhir yang berhubungan langsung dengan konsumen [7]–[13]. Kehandalan dalam penyaluran energi listrik dari sumbernya hingga ke konsumen sangat tergantung pada mutu dan kelengkapan infrastruktur jaringan distribusi PT PLN (Persero) UID Bali, termasuk tiang listriknya. Masalah sering muncul ketika ada kegagalan dalam konstruksi, seperti tiang yang tumbang, yang dapat mengakibatkan pemadaman listrik serta kerugian material dan immaterial lainnya.

27 Tiang tenaga listrik bertindak sebagai penopang bagi semua komponen jaringan, penjamin keamanan, serta pengantar arus listrik dalam sistem distribusi tenaga listrik. Desain tiang listrik yang berkualitas, aman, teratur, serta memenuhi standar pembangunan PLN akan menambah tingkat keandalan sistem distribusi. Tiang listrik memiliki peran penting dalam menyokong dan menciptakan jarak yang aman antara jaringan listrik dan permukaan tanah, bangunan, hewan, flora, serta manusia untuk mengurangi potensi terjadinya kecelakaan akibat listrik. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus berkembang, diperlukan perluasan jaringan distribusi, yang pada gilirannya juga memerlukan tiang listrik tambahan dengan pertimbangan kuantitas, kekuatan struktur, serta penempatannya dengan memperhatikan faktor teknis dan ekonomis [14]–[17]. Pelaksanaan perencanaan dan konstruksi jaringan distribusi tenaga listrik harus patuh terhadap standar yang berlaku di PLN, untuk menjamin keandalan jaringan distribusi sesuai dengan keadaan lingkungan di mana jaringan tersebut di pasang. Dalam kondisi saat ini perubahan begitu cepat, demikian pula perubahan lingkungan akibat aktivitas manusia. Perubahan lingkungan di sekitar jaringan distribusi karena terjadinya pembangunan kerap menimbulkan permasalahan baru bagi jaringan distribusi, karena tidak sesuai lagi dengan keadaan pada saat konstruksi.

Belajar dari latar belakang masalah tersebut di atas, penelitian studi kasus ini menjadi sangat penting untuk memastikan kesesuaian konstruksi jaringan distribusi menghadapi perubahan lingkungan. Dalam pelaksanaannya konstruksi jaringan distribusi melibatkan beberapa disiplin ilmu, antara lain teknik listrik, teknik mesin, dan teknik sipil. Sehingga dalam melaksanakan penelitian ini melibatkan keilmuan yang multi disiplin.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

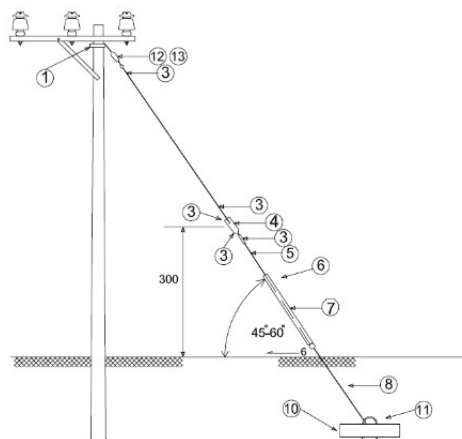
Berdasarkan Buku 5 keputusan direksi PT. PLN (Persero) tentang standar konstruksi jaringan tegangan menengah tenaga listrik dan buku pedoman standar konstruksi jaringan distribusi tahun 2008 penentuan konstruksi tiang perencanaan jaringan baru dengan memperhatikan jarak aman (*safety distance*) dengan konstruksi untuk rute pengganti 1 dan rute pengganti 2 menggunakan Konstruksi DB01, DB02, DB03, DB04, DB05, dan DB06 [14]. Penelitian tersebut membahas tentang pemilihan konstruksi tiang berdasarkan kondisi

lingkungan sesuai standar PLN. Sedangkan penelitian ini mengkaji ulang konstruksi yang telah dilaksanakan berpedoman kepada standar PLN baik itu Buku 1 tentang Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik maupun Buku 5 tentang Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik, berdasarkan hasil analisis secara matematis dan statistik.

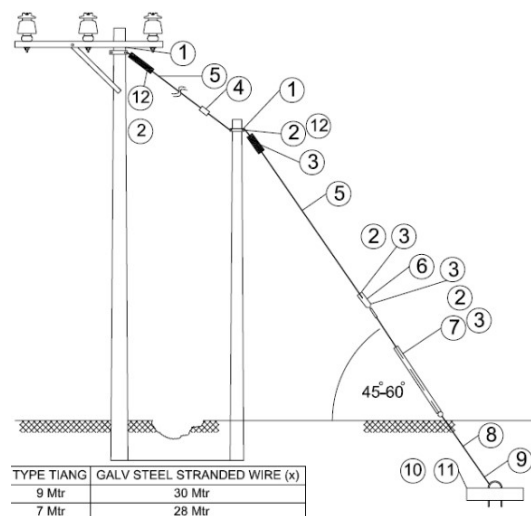
Secara perhitungan teknis pondasi tiang tipe C masih memenuhi syarat terbukti $q_u > w$, demikian pula ditinjau dari sisi kekuatan anker 43,30 kN dan 16,34 kN masih mampu untuk memberi reaksi terhadap momen tiang yang besarnya hanya 10,74 kN. Jika digunakan tipe C di tambah treck anker sudah lebih dari cukup[18]. Penelitian tersebut membahas kemampuan tiang NA0185 A7 dengan pondasi tipe-C sesuai kondisi awal sebelum April 2015, kondisi tanah tergerus hingga 21 Juni 2021, dan setelah perbaikan, serta kekuatan trek angkernya dalam kondisi tanah padang rumput dan dalam kondisi tanah sawah basah, dengan memanfaatkan data laboratorium tanah. Sedangkan penelitian ini focus kepada kemampuan tiang NA0185 A7 dengan pondasi tipe-C tertanam di pematang sawa, sedangkan trek anker dengan kondisi tertanam dalam tanah sawah basah, dengan memanfaatkan data laboratorium tanah dan hasil uji sondir.

2.1.1. Tiang Sudut

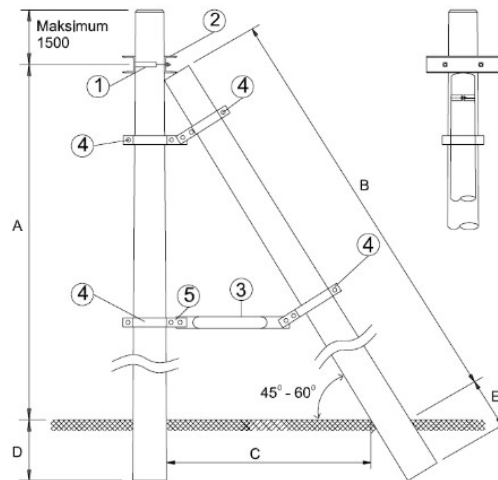
Kondisi tanah stabil dan kuat sangat dibutuhkan untuk menopang beban aksial tiang listrik. Untuk menopang gaya guling, tiang listrik perlu diberikan penguat dengan memasang: (a) trek anker; (b) jika (a) tidak memungkinkan maka dapat dipasang kontramast; (c) jika (b) tidak memungkinkan maka dapat dipasang tiang *struth pole*, (d) jika (c) tidak memungkinkan maka dapat dipasang pilihan terakhir yaitu pondasi beton type C atau type B [19], [20] sebagaimana ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



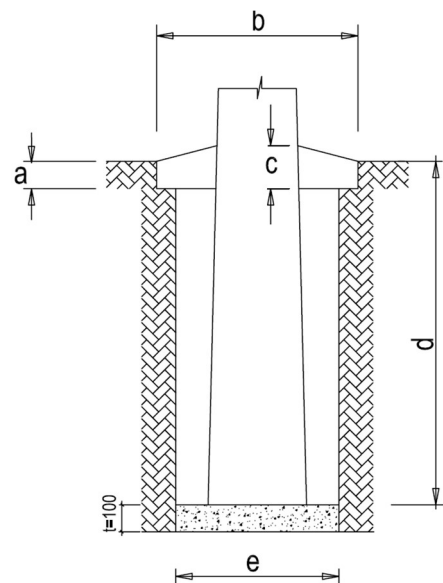
Gambar 1 Trek Anker



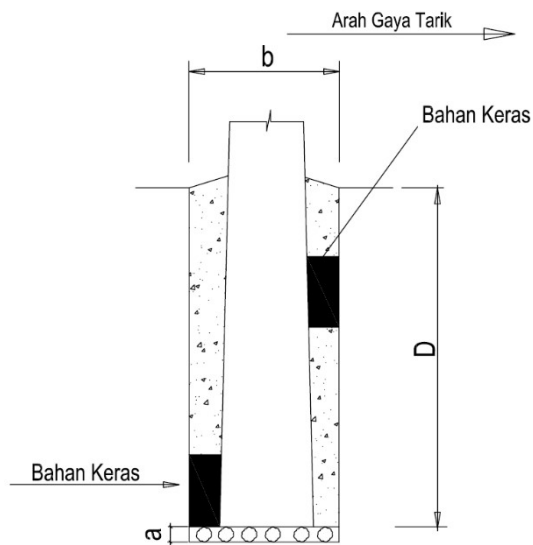
Gambar 2 Kontramast



Gambar 3. Struth Pole



Gambar 4. Pondasi Tipe-B

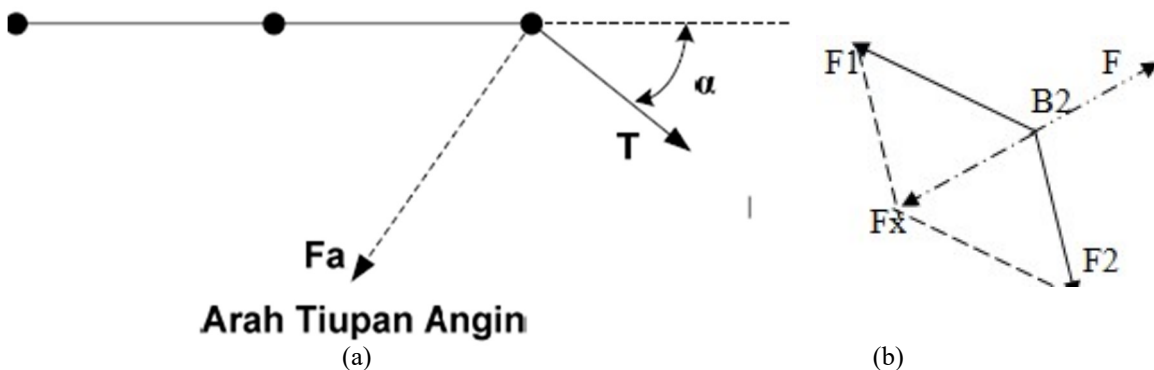


Gambar 5. Pondasi tipe-C

Kegagalan yang tidak bisa dihindari adalah kegagalan pada pondasi akibat: (a) Penanaman dengan kedalaman tiang yang kurang dari $1/6$ x panjang tiang, tanah labil, tanah kurang padat, kebocoran drainase sehingga tanah di sekeliling tiang dan penguatnya menjadi lunak, sehingga tiang miring, amblas, atau roboh terutama saat cuaca yang ekstrem; (b) Kualitas bahan tiang yang kurang baik, beton berkualitas rendah dan baja tulangan yang tidak memadai; (c) Kesalahan dalam perencanaan dan penghitungan beban tanpa memperhitungkan beban tambahan dari kabel dan peralatan seperti trafo, recloser, jaringan telekomunikasi, serta jarak dan sudut antar tiang yang terlalu lebar; (d) Tiang yang tidak berada dalam posisi tegak; (e) Pemasangan kawat penyangga (guy wire) yang tidak memenuhi syarat; (f) Penggunaan peralatan kerja yang tidak tepat; (g) Pengawasan lapangan yang kurang teliti dalam mengawasi para pekerja; (h) Faktor lingkungan dan cuaca yang berada di luar kendali PLN seperti: gempa bumi, genangan, banjir, tanah longsor, erosi, abrasi, hembusan angin, dan badai; (i) Minimnya pemeliharaan dan pemeriksaan secara rutin; (j) Aktivitas manusia di sekitar tiang, seperti kerusakan irigasi, perubahan fungsi lahan, penggalian dekat tiang listrik, pembangunan gedung atau pembangunan jalan, mengganggu pondasi tiang listrik [17]. Penelitian ini sangat penting untuk mengkaji konstruksi tiang sudut NA0185 A7, yang rubuh dalam situasi bencana/cuaca ekstrem di Batuangung, Negara, Kabupaten Jembrana, Bali.

3

Tiang sudut adalah tiang yang memiliki sudut deviasi lintasan penghantar lebih besar dari 0° sampai dengan 90° . Jika tiang awal/ujung memikul gaya sebesar F kg gaya (daN), maka tiang sudut memikul gaya mekanis F akibat berat/massa penghantar, tiupan angin maksimum, dan tegangan tarik maksimum penghantar diantara dua tiang penegang, yang dapat dilihat dalam gambar 6 dan rumus (1) dan (2) di bawah ini.



Gambar 6 (a) Arah Gaya Tiang Sudut [20], (b) Vektor Gaya di Tiang

Dengan memperhatikan gambar tersebut di atas, maka dapat dirumuskan persamaan (1) di bawah ini.

$$F = F_a \times d \times a \times \cos \frac{\alpha}{2} + 2T \sin \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

Dimana:

α = sudut deviasi lintasan jaringan

F = gaya mekanis tiang awal/ujung (daN)

F_a = tekanan angin pada arah bisection [daN/m²]

T = tegangan tarik maksimum penghantar pada tiang [daN]

d = diameter penghantar [m]

a = panjang rata-rata aritmatik dari dua gawang yang membentuk sudut

α = sudut deviasi lintasan (derajat)

Rumus di atas merupakan hal penting untuk melaksanakan perencanaan dan pemasangan jaringan distribusi tenaga listrik, sehingga mampu untuk mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis [14], [15], [21]. Aspek teknis adalah faktor utama dalam pembangunan jaringan distribusi untuk memastikan keselamatan, kualitas, dan keandalan dalam penyaluran tenaga listrik. Beberapa faktor teknis yang harus diperhatikan mencakup: pemilihan jenis tiang dan cara konstruksinya, yang mana keselamatan manusia yang utama, hewan, dan tumbuhan/pohon; berat dari peralatan sistem distribusi, penghantar, jarak antar tiang, ketinggian, kondisi tanah, dan lingkungan sekitarnya.

Dalam upaya mencapai efisiensi biaya agar tidak mengorbankan aspek teknis dan keselamatan. Beberapa elemen ekonomi yang perlu dipertimbangkan mencakup biaya konstruksi, yang terdiri dari pengadaan material, biaya tenaga kerja dan pilihan disain konstruksi, serta biaya perizinan dan pembebasan lahan (jika diperlukan). Desain jaringan harus tetap melakukan pengoptimalan biaya investasi, sesuai standar teknis yang ditetapkan, serta biaya Operasi dan Pemeliharaan yang murah. Pengeluaran untuk pemeliharaan jangka panjang yang rendah seringkali lebih ekonomis dibandingkan dengan investasi awal yang murah namun rentan rusak.

Desain yang terlalu kecil akan menimbulkan biaya tambahan untuk memperkuat jaringan di masa mendatang atau bahkan menimbulkan kerugian karena kegagalan konstruksi. Setiap alternatif desain harus dianalisis dari segi ekonomi dengan membandingkan biaya siklus hidup total, terhadap manfaat yang diperoleh dari peningkatan keandalan dan kualitas layanan. Alternatif biaya total pembangunan tiang terendah dan manfaat optimal harus dipilih sebagai solusi terbaik. Dalam memilih disain konstruksi harus dipastikan gaya guling (F_x) dapat dilan oleh gaya F sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 3b di atas, yang dapat ditulis dalam persamaan di bawah ini.

$$F_1 + F_2 = F_x = -F \quad (2)$$

Dimana:

F_1 dan F_2 : Gaya tarik kearah tiang B yaitu dan ke arah tiang C dari tiang B2 (kN)

F_x : Resultante gaya (kN)

F : Gaya lawan agar tiang B2 tidak roboh atau patah (kN)

Tiang listrik akan mengalami berbagai gaya mekanis, yaitu: 1. Berat penghantar dan peralatan 2. Gaya tarik dari penghantar (tensile strength) 3. Angin yang meniup 4. Pengaruh dari penghantar lainnya. Besarnya gaya tersebut berbeda tergantung fungsi tiang (tiang awal/ujung, tiang tengah, tiang sudut) dan luas penghantar [14], [15]. Tiang harus memenuhi standar kekuatan struktural serta stabilitas jangka panjang. Baik tiang berbahan besi maupun beton, memiliki daya tarik (working load) sesuai Setandar PLN yaitu 160 daN, 200 daN, 350 daN, 500 daN, 800 daN, 1200 daN (deka Newton). Dimana 1 daN setara dengan gaya yang bekerja pada 1,01 kg masa benda (massa dikalikan gravitasi). Tiang jaringan distribusi listrik berperan penting sebagai penyangga penghantar dan perlengkapannya yang dipergunakan untuk proses penyaluran energi listrik dalam SUTM. Dalam memilih jenis konstruksi tiang, sangat mempertimbangkan layout lokasi, bentuk tanah, jenis tanah, hambatan/rintangan, posisi konsumen, serta posisi tiang. Berdasarkan kondisi tersebut serta mempertimbangkan beban penghantar, maka diputuskan jenis konstruksi tiang yang akan digunakan ang memenuhi syarat teknis dan ekonomis.

2.1.2. Pondasi

Dalam menentukan pondasi tiang, diameter kaki tiang atau pondasi dan daya dukung tanah menjadi faktor utama yang mempengaruhinya. Untuk mengetahui daya dukung tanah dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian sondir atau Tes Penetrasi Konus (CPT), yaitu metode yang digunakan untuk mengeksplorasi tanah guna mengetahui kemampuan dukung dan sifat-sifat lapisan tanah dengan cara memasukkan sebuah konus

ke dalam tanah secara vertikal dan terus menerus hingga mencapai kedalaman tertentu atau kekerasan tanah tertentu [22], [23]. Metode ini sering diterapkan dalam proyek yang berkaitan dengan teknik sipil yang berkaitan dengan pondasi seperti bangunan gedung, jalan, dan jembatan, termasuk dalam perencanaan pondasi tiang listrik.



Gambar 7. Mesin Sondir [21]

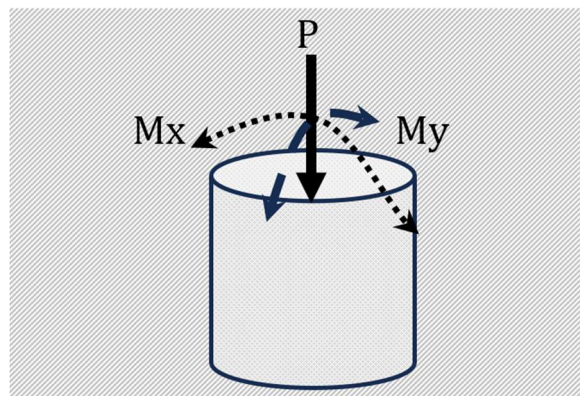
Adapun tahap-tahap penggunaan sondir dimulai dengan menentukan lokasi sesuai dengan desain pemeriksaan tanah. Pasang angkur mesin dengan cara menancapkan sambil diputar. Pasang chasis mesin di atas angkur. Pasang alat sondir dalam posisi tegak lurus (periksa menggunakan waterpass). Pasang penyangga agar perangkat tetap stabil saat dilakukan penekanan. Rakit batang sondir dan pasang konus di bagian ujung. Pastikan posisi alat benar-benar tegak untuk menghindari kesalahan dalam pengukuran. Tekan tuas hidrolik secara perlahan dan stabil. Kecepatan penetrasi yang disarankan adalah sekitar 2 cm per detik. Catat hasil pembacaan setiap 20 cm kedalaman: Tekanan total (q_c) dan Hambatan lekat (f_s). Jika menggunakan konus geser, tambahkan batang penetrasi setiap 1 meter dan teruskan hingga mencapai lapisan tanah keras atau kedalaman yang ditargetkan, atau sampai kapasitas alat maksimum tercapai. Perlawanan Konus (q_c) menunjukkan kepadatan atau konsistensi tanah, sedangkan hambatan lekat (f_s) berguna untuk mengenali jenis tanah. Rasio gesek digunakan untuk klasifikasi tanah dan dihitung dengan rumus (3) dibawah ini. Setelah selesai, keluarkan batang secara perlahan dan lepaskan satu per satu. Bersihkan konus dan batang yang digunakan. Simpan alat dengan aman. Buat grafik hubungan antara q_c dan kedalaman.

$$R_f = f_s/q_c \times 100\% \quad (3)$$

Apabila pengujian dengan sondir tidak berhasil, karena konus menghadapi hambatan, salah satu metode yang bisa dilakukan di lapangan untuk mengevaluasi karakteristik tanah adalah dengan menggunakan Standard Penetration Test (SPT). Pengujian SPT dilakukan dengan menancapkan tabung belah secara vertikal ke dalam tanah melalui serangkaian pukulan [23]. Metode ini juga melibatkan penghitungan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menancapkan tabung belah hingga kedalaman tertentu ke dalam tanah. Nilai SPT (NSPT) dapat dimanfaatkan untuk menentukan kapasitas daya dukung pondasi dalam. Karena dalam penelitian ini meneliti pondasi tiang listrik yang kedalamannya maksimum 2 meter sehingga tergolong pondasi dangkal, maka test spt ini tidak digunakan.

Pondasi, yang sering disebutkan, merupakan bagian dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menopang bangunan dan meneruskan beban yang berasal dari elemen atas ke tanah yang cukup kuat agar tidak terjadi penurunan yang tidak merata pada sistem strukturnya. Dengan memahami kondisi tanah, kita dapat merencanakan jenis pondasi dan ukuran pondasi yang tepat sesuai dengan beban yang akan ditanggung oleh tiang listrik atau mengetahui beban maksimum yang dapat ditanggung oleh tiang listrik yang ditanam dalam kedalaman yang telah ditentukan. Pondasi perlu dihitung dengan cermat untuk memastikan stabilitas bangunan atau tiang listrik terhadap berat sendiri, beban dari bangunan atau tiang listrik, serta gaya-gaya eksternal seperti tekanan angin, gempa bumi, dan lainnya, sedangkan unsur-unsur lain yang bersifat luar biasa, perubahan fungsi tanah yang berakibat kepada perubahan struktur tanah, bencana longsor, atau pohon yang jatuh serta hal-hal lain yang tidak bisa diprediksi tidak diikutsertakan dalam perencanaan [24].

Beton digolongkan sebagai material diskrit yang dibuat dengan campuran dua komponen utama yaitu agregat sebagai pengisi filler dan pasta semen (matriks) sebagai binder; keduanya terhubung melalui interface zone[25]. Dalam mekanika fraktur, interface zone yang dikondisikan secara signifikan oleh karakteristik agregat (permukaan, kekakuan /kekerasan, geometri, dll), berdampak terhadap traksi sebagai media laju pelepasan energy regangan atau yang dikenal sebagai fracture energy[10]. Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa benda uji dengan agregat rounded lebih tinggi kuat tekannya dibandingkan dengan yang angular[25]. Dengan demikian untuk tiang listrik agregatnya lebih baik menggunakan agregat bulat alami, buka batu pecah. Dalam konstruksi tiang listrik tiang beton itu sendiri menjadi pondasi telapak. Beton kaki tiang sesuai standar PLN adalah beton polos tanpa tulangan sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 4 dan gambar 5 di atas. Di bawah tiang tidak terdapat pondasi khusus. Di dalam sebuah tiang listrik akan bekerja tiga buah gaya, yaitu: gaya aksial (P) yang ditimbulkan oleh beban pengantar dan berat tiang beton itu sendiri, dan momen ke sumbu X (M_x), dan momen ke sumbu Y (M_y) yang ditimbulkan oleh tegangan tarik penghantar dan berat penghantar khususnya di tiang sudut sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6 a di atas. Adapun ketiga gaya tersebut sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8 Pondasi Tiang Listrik

Dalam menghitung tegangan tanah yang terjadi di dasar pondasi dapat dihitung dengan persamaan (4) di bawah ini. Perlu diperhatikan dalam perhitungan bahwa nilai tegangan tanah tidak diperbolehkan lebih besar dari pada kapasitas daya dukung tanah. Vesic (1973) mengusulkan persamaan untuk menghitung kapasitas Daya Dukung tanah (q_u) untuk pondasi dangkal [26]. di mana terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti faktor kapasitas dukung (N_c, N_q, N_γ), faktor bentuk pondasi (s_c, s_q, s_γ), faktor kedalaman pondasi (d_c, d_q, d_γ), faktor kemiringan beban (i_c, i_q, i_γ), faktor kemiringan dasar pondasi (b_c, b_q, b_γ) faktor kemiringan permukaan (g_c, g_q, g_γ), lebar pondasi (B), tekanan overburden pada dasar pondasi (P_o), kedalaman pondasi (D_f), kohesi (c) dan berat volume tanah (γ). Menurut Vesic (1973) daya dukung tanah dapat ditentukan dengan persamaan:

$$q_u = s_c d_c i_c b_c g_c c N_c + s_q d_q i_q b_q g_q p_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \quad (4)$$

Dimana:

q_u = kapasitas daya dukung ultimit (ton/m^2)

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung pondasi,

s_c, s_q, s_γ = faktor bentuk pondasi

d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman pondasi

i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban,

b_c, b_q, b_γ = faktor kemiringan dasar pondasi,

g_c, g_q, g_γ = faktor kemiringan permukaan,

B = lebar pondasi (m),

P_o = tekanan overburden pada dasar pondasi (ton/m^2),

D_f = kedalaman pondasi (m),

c = kohesi (ton/m^2) dan

γ = berat volume tanah (ton/m^3).

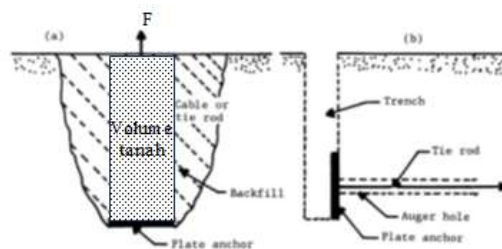
Berdasarkan rumus di atas dapat dijelaskan bahwa daya dukung ultimit tanah dipengaruhi oleh kontribusi kohesi ditambah tekanan tanah penutup dipengaruhi oleh berat tanah. Namun masing-masing kontribusi

dikoreksi oleh bentuk pondasi, kedalaman, kemiringan beban, kemiringan dasar, kemiringan permukaan tanah. Semakin kompleks kondisi lapangan akan mengakibatkan semakin penting faktor koreksi tersebut.

2.1.3. Angkur

Untuk memperkuat konstruksi tiang sudut agar tidak rubuh dalam menahan gaya yang disebabkan oleh gaya yang bekerja padanya dibutuhkan tarik angkur yang ditambatkan di sebuah plat angkur. Pengangkeran merupakan suatu cara untuk memanfaatkan gaya tarik, gaya berat, dan gaya gesek yang bekerja di dalam lapisan tanah/batuan pendukung[27]. Metode angkur tanah merupakan suatu metode dalam geoteknik dalam meningkatkan kekuatan tanah, tidak jarang digunakan dalam menahan tanah, lereng maupun konstruksi lainnya yang rawan bergerak atau longsor. Dalam pekerjaan konstruksi tiang listrik pemanfaatan angkur tanah memiliki tujuan utama untuk menyalurkan beban momen guling yang diterima tiang listrik kedalam lapisan tanah dan yang tidak ada hubungannya dengan tiang listrik itu sendiri. Disain angkur utamanya terdiri dari atas fixed length, free length, dan kepala angkur yang dapat berupa beton blok atau plat. Saat ini dapat diidentifikasi beberapa tipe angkur tanah antara lain angkur heliks, angkur lipat, angkur pelat, angkur tiang, angkur grout dan angkur dengan bentuk tak beraturan. Dalam konstruksi tiang listrik SUTM umumnya dipergunakan jenis angkur plat beton.

Angkur tanah tipe pelat merupakan suatu jenis angkur tanah dengan menggunakan angkur plat beton precast atau pelat baja yang ditanamkan di dalam tanah yang kemudiandihubungkan dengan struktur bangunan atau tiang listrik SUTM melalui treck angkur. Angkur pelat bekerja dengan menyalurkan gaya atau beban tarik yang dihasilkan oleh struktur atau tiang listrik ke tanah di sekitarnya melalui plat angkur yang tertanam di dalam tanah. Pelat angkur dipasang dalam posisi horizontal atau miring, tergantung pada kebutuhan desain dan kondisi tanah. Untuk membuat angkur plat, angkur pelat ditanam dengan kedalaman tertentu, dengan cara menggali tanah terlebih dahulu, hasil galian ditimbun kembali dan dipadatkan, atau dapat dilakukan pengurugan dengan material tanah yang lebih baik dan pemadatan. Angkur pelat dapat diperhatikan dalam Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Plat Angkur konstruksi tegak dan miring [28]

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik trek angkur sebagaimana gambar 9 antara lain: luas plat angkur, yang akan mengakibatkan kemampuan angkur bertahan dengan memanfaatkan total berat tanah dan kohesifitas tanah yang berada di atasnya. Berat plat angkur beton akan menyumbangkan kekuatan yang patut diperhitungkan. Jika kohesifitas diabaikan maka kekuatan trek angkur dikalkulasikan dengan persamaan (5) di bawah ini.

$$T_u = W_p + W_t + F_r \quad (5)$$

Dimana:

T_u = kapasitas ultimit angkur (kN)

W_p = berat plat beton (kN)

W_t = berat tanah di atas plat angkur (kN)

F_r = gesekan tanah (kN)

3. METODOLOGI PENELITIAN

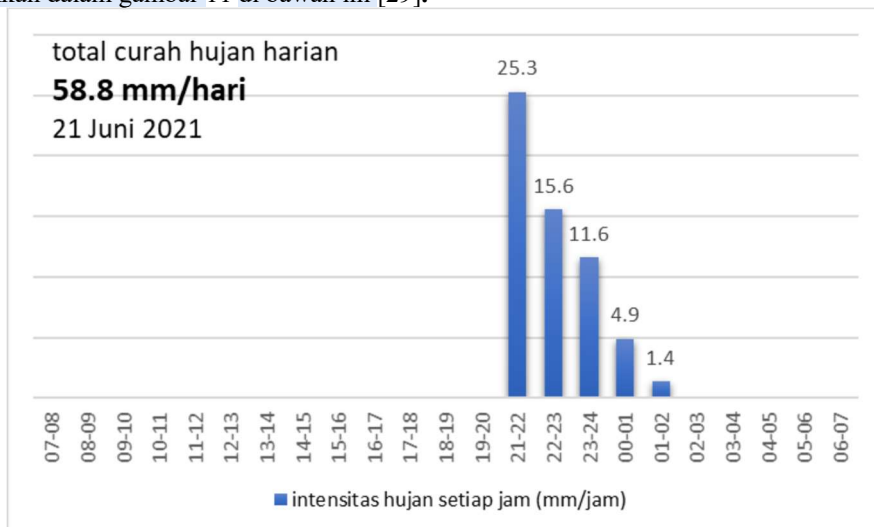
Penelitian ini adalah studi kasus tentang kekuatan tiang sudut SUTM milik PLN di area kerja ULP Negara. Data dikumpulkan dengan beberapa cara, yaitu observasi, studi pustaka, dokumentasi, dan wawancara. Observasi mencakup pengukuran daya dukung tanah dengan metode sondir, berat jenis tanah, posisi dan tinggi tambatan kawat angkur, tinggi tiang, panjang kawat angkur, serta jarak antara angkur dengan kaki tiang. Selain itu, diukur juga sudut jaringan dan jarak antar tiang serta foto diambil di sekitar tiang listrik. Data observasi menjadi data primer dalam penelitian ini.

Studi pustaka melibatkan pembacaan standar PLN mengenai konstruksi SUTM dan akses terhadap situs Google Maps untuk informasi lokasi pada bulan April 2015 dan Juni 2022. Dokumentasi dilakukan dengan meninjau laporan yang dimiliki PLN sebelum, saat tiang ambruk, dan saat perbaikan. Data yang diperoleh dengan studi pustaka dan dokumentasi menjadi data sekunder dalam penelitian ini. Wawancara diadakan dengan petugas PLN dan masyarakat sekitar untuk memverifikasi informasi dari metode lain.



Gambar 10. (a)Tiang NA0185 A7 Rubuh Pada Saat Hujan Sangat Lebat dan Angin Kencang, (b) Beton Blok Plat Angker Terangkat

Studi dokumentasi terhadap dokumen yang dikuasai PLN ULP Negara, didapatkan data rubuhnya tiang NA0185 A7 pada saat hujan sangat lebat dan angin kencang yang juga mengakibatkan terangkatnya beton blok plat angker. Berdasarkan hasil studi dokumentasi terhadap surat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Nomor e.T/KL.01.00/033/KJBR/VIII/2024 tetanggal 22 Agustus 2024 didapat keterangan bahwa pada saat tiang NA0185 A7 rubuh tanggal 21 Juni 2021, data observasi cuaca di Stasiun Klimatologi Jembrana pada tanggal 21 juni 2021, tercatat telah terjadi hujan lebat disertai dengan petir dan angin kencang (maksimum mencapai 20 knot dari arah timur laut) dalam rentang waktu 21.30 WITA hingga 01.40 WITA. Adapun intensitas hujan pada jam 21.00 – 22.00 WITA terukur 25.3 mm/jam (**Sangat Lebat**) sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 11 di bawah ini [29].



Gambar 11. Intensitas Curah Hujan di Stasiun Klimatologi Jembrana pada 21 Juni 2021 [29]

Pengumpulan data primer dihasilkan melalui uji kapasitas tanah menggunakan alat sondir yang dilaksanakan di lokasi mencakup: lokasi plat anker baru, lokasi plat anker yang lama, lokasi bekas tiang sebelumnya, dan di sebelah lokasi tiang yang ada saat ini. Pengujian kohesifitas dan berat volume tanah dilakukan dilaboratorium tanah PNB dengan mengambil tanah sampel dengan menggunakan tabung sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 12 di bawah ini. Pengukuran panjang serta jarak dilakukan menggunakan alat pengukur. Sementara itu, pengamatan kondisi sekitar dilakukan dengan cara mengambil gambar. Proses pengambilan data ini terlihat pada Gambar 12 di bawah ini.



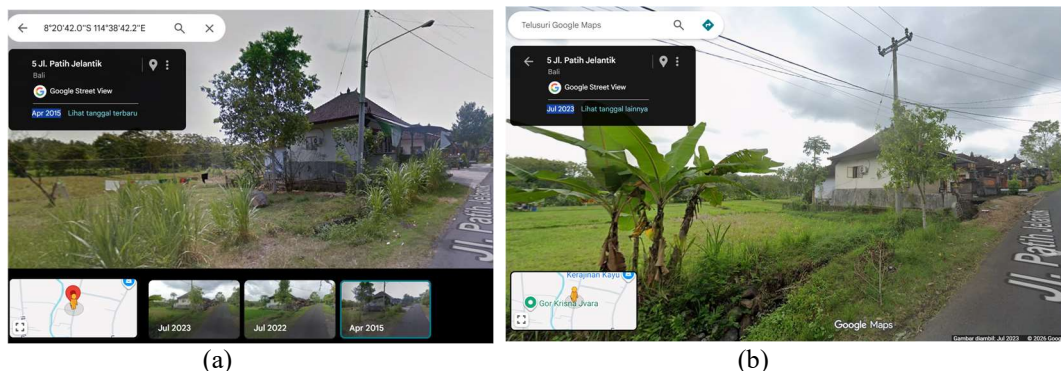
Gambar 12. Proses Sondir dan Pengangkatan Tabung Sampel Tanah

Data yang didapat dalam studi ini dianalisis dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Informasi yang telah dikumpulkan diproses menggunakan metode statistik dan matematis. Temuan dari pengolahan matematis akan dijelaskan dan diuraikan bagaimana hubungan antar data berdasarkan hasil perhitungan. Dari hasil analisis tersebut, akan ditarik kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

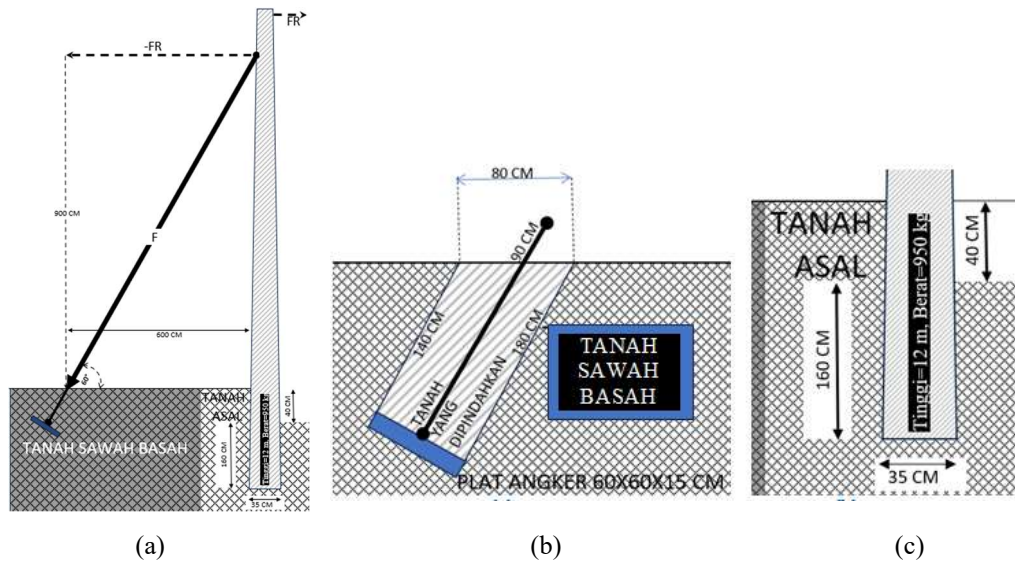
Data dalam bentuk kualitatif dan kuantitatif telah diperoleh dalam penelitian ini. Dalam gambar 13 di bawah ini disajikan data kualitatif berupa alih fungsi lahan dari padang rumput menjadi tanah sawah basah.



Gambar 13 Alih Fungsi Lahan dari (a) Padang Rumput (<https://bit.ly/3OFuPfr>) Menjadi (b) Tanah Sawah Basah (<https://bit.ly/4u2UXRI>)

Berdasarkan gambar 13(a) dapat dijelaskan bahwa awalnya pada bulan April 2015 tanah di lokasi tiang listrik nomor NA0185 A7, masih merupakan tanah kering yang terdiri atas padang rumput. Namun pada tanggal 21 Juni 2021 tanah tersebut diketahui telah beralih fungsi menjadi tanah sawah basah sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 10(b) di atas, bahkan fungsi lahan basah masih berlanjut hingga Bulan Juli 2023 sesuai yang ditunjukkan dalam gambar 13(b) di atas, bahkan hingga kini sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 12 di atas.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah ilustrasi kondisi pada Tanggal 21 Juni 2021 dan data hasil pengujian saat ini.



Gambar 14. (a) Ilustrasi tiang NA0185 A7 sebelum rubuh (b) zoom atas trek angker gambar 14(a) tanah asal telah berubah menjadi tanah sawah basah, (c) zoom atas pondasi gambar 14(a) berada di tanah asal (pematang sawah)[18]

Berdasarkan hasil pengujian sondir diperoleh data daya dukung tanah seperti yang ditampilkan dalam tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Sondir di Lokasi Tanah Sawah Basah

Kedalaman Sondir	Nilai Konus	Rata-rata Konus	Total Perlawanan	Perlawanan Gesek	Hambatan Setempat	Hambatan Pelekat	Total Hamb. (Kumulatif)
H	Cw	qc	Tw	Kw	Lcf	Lcf x 20	Tf
(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm)	(kg/cm)
0,2	5	1,67	7	2	0,2	2	2
0,4	5	1,43	15	10	1	10	12
0,6	10	4,29	20	10	1	10	22
0,8	15	6,43	30	15	1,5	15	37
1	35	0	40	5	0,5	5	42
1,2	10	5,71	40	30	3	30	72
1,4	20	0	45	25	2,5	25	97
1,6	20	1,43	50	30	3	30	127

Tabel 2. Hasil Sondir di Lokasi Kaki Tiang Listrik NA0185 A7 Sebelum Perbaikan

Kedalaman Sondir	Nilai Konus	Rata-rata Konus	Total Perlawanan	Perlawanan Gesek	Hambatan Setempat	Hambatan Pelekat	Total Hamb. (Kumulatif)
H	Cw	qc	Tw	Kw	Lcf	Lcf x 20	Tf
(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm)	(kg/cm)
0,2	3	17	3, 5	2	0,2	2	2
0,4	3	14	4, 5	2	0,2	2	4
0,6	3	57	5, 10	7	0,7	7	11
0,8	5	29	7, 10	5	0,5	5	16
1	5		9 15	10	1	10	26
1,2	10	1,43	1 15	5	0,5	5	31
1,4	10	5,71	1 20	10	1	10	41
1,6	15	0	2 25	10	1	10	51
1,8	15	3,57	2 30	15	1,5	15	66
2	20	7,14	2 45	25	2,5	25	9
2,2	35,0	9,29	2 45	10,0	1,0	10,0	1
2,4	35,0	1,43	3 50	15,0	1,5	15,0	1
							16,0

Tabel 3 Karakteristik Bahan Tiang Beton

Uraian	Simbol	Nilai	Satuan
Mutu beton	f'_c	24	MPa
Mutu baja tulangan	U	40	
Tegangan leleh baja	f_y	400	MPa
Modulus Elastisitas beton	E_c	23025	MPa
Berat beton bertulang	γ_c	24	kN/m ³
Bentuk tiang		Lingkaran	
Diameter tiang	D	0,35	m
Momen inersia tiang	I_p	0,0007	m ⁴
Elevasi konstruksi	-	0,00	m

Tabel 4 Parameter Tanah Asli

Uraian	Simbol	Nilai	Satuan
Berat volume tanah basah	γ_b	15,75	kN/m ³

Tabel 5 Data CPT

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	S.02			
		q_c (kg/cm ²)	q_f (kg/cm ²)	q_c (kN/m ²)	q_f (kN/m ²)
0,2	Clay	5,00	0,50	491	49
0,4	Clay	5,00	0,50	491	49
0,6	Clay	5,00	0,50	491	49
0,8	Clay	5,00	0,50	491	49
1,0	Clay	5,00	0,00	491	0
1,2	Clay	10,00	10,00	981	981
1,4	Clay	20,00	10,00	1962	981
1,6	Clay	35,00	15,00	3434	1472
1,8	Clay	100,00	7,00	9810	687
2,0	Clay	250,00	0,00	24525	0

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Kapasitas Dukung Aksial Tiang

Berdasarkan data CPT, pengujian yang dilakukan hanya sampai kedalaman 1.40 m dari permukaan tanah maka dapat dianalisa seperti uraian di bawah ini.

Elevasi kepala tiang	-	0,00	m
Kedalaman tiang dari permukaan tanah asli	L_t	= 2,00	m
Kedalaman muka air tanah dari permukaan tanah asli	M.A.T	= 13,50	m
D	=	0,35	m
L	=	2,00	m
A_b	=	0,096	m ²

Ujung tiang berada pada tanah dengan klasifikasi *Clay*.

Nilai q_c diambil nilai rata-rata ujung bawah tiang sampai 1D di bawahnya dan 4D di atasnya, jadi nilai q_c yang diambil dari kedalaman 0.6 m - 2.4 m. Nilai kapasitas dukung ujung tiang pada tanah pasir dihitung persamaan:

$$Q_u = A_b \cdot f_b \text{ di mana } f_b = q_{ca}/30$$

Nilai q_c rata – rata pada 0.6 m - 2.4 m	q_{ca}	=	389,7	kN/m ²
Kontrol nilai f_b maksimum (4500 kN/m ²)	f_b	<	fb maks	
Tahanan ujung per satuan luas yang digunakan	fb	=	4316,40	kN/m ²

$$\text{Kapasitas dukung ultimit} \quad Q_u = 415,29 \text{ kN}$$

Tegangan tanah maksimum yang terjadi pada dasar fondasi adalah sebesar di tanah tergerus adalah sebesar 252,12 kN/m² [18]. Nilai tersebut jauh lebih kecil dari Kapasitas dukung ultimit (Q_u) yang mencapai 415,29 kN. Dengan demikian walaupun dalam kondisi tanah tergerus, berdasarkan analisis data sondir hasil analisis menegaskan bahwa tidak akan terjadi kegagalan konstruksi pada tiang listrik akibat adanya gaya aksial.

4.2.2 Pembahasan Trek Angker di Tanah Sawah dalam Menanggulangi Momen

Tabel 6 Spesifikasi Angker

Uraian	Simbol	Nilai	Satuan
Kohesi efektif tanah	c'	9,62	(kN/m ²)
Berat volume tanah	γ_b	14,58	(kN/m ³)
Berat volume beton	γ_p	24,00	(kN/m ³)
Area gesek	A	3,73	(m ²)
Volume tanah yang dipindahkan	V_t	0,56	(m ³)
Volume plat beton	V_p	0,05	(m ³)
Sudut angker	α	60,00	(°)

Tabel 7 Analisis Trek Angker

Uraian	Rumus	Simbol	Nilai	Satuan
Berat plat beton	$W_p = V_p \times \gamma_p \times \sin(60^\circ)$	W_p	1,12	(kN)
Berat plat tanah yang dipindahkan	$W_t = V_t \times \gamma_b \times \sin(60^\circ)$	W_t	7,06	(kN)
Gesekan tanah	$F_r = A \times c'$	F_r	35,84	(kN)
Kapasitas ultimit angker	$T_u = W_p + W_t + F_r$	T_u	44,02	(kN)
Kapasitas ultimit angker arah horizontal	$T_{uH} = T_u \cos(60)$	T_{uH}	22,01	(kN)

Berdasarkan hasil analisis dalam tabel 7 diperoleh Kapasitas ultimit angker arah horizontal (T_{uH}) sebesar 22,01 kilo Newton. Nilai tersebut lebih kecil dari gaya horisontal yang timbul di ujung tiang yang mencapai 5,87 kilo Newton [18]. Dengan demikian dalam kondisi normal tidak akan terjadi kegagalan konstruksi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengolahan data uji sondir dan data uji laboratorium tanah, terhadap tanah di sampel tiang listrik NA0185 A7 diperoleh tegangan tanah maksimum yang terjadi pada dasar fondasi adalah di tanah tergerus air irigasi adalah sebesar 252,12 kN/m² [18], nilai tersebut jauh lebih kecil dibandingkan kapasitas dukung ultimit (Q_u) yang mencapai 415,29 kN. Demikian pula kapasitas ultimit angker arah horizontal (T_{uH}) di tanah sawah basah diperoleh sebesar 22,01 kilo Newton, nilai tersebut lebih kecil dari gaya horisontal yang timbul di ujung tiang yang mencapai 5,87 kilo Newton [18]. Penelitian ini menemukan bahwa Secara syarat teknik tiang listrik nomor NA0185 A7 yang dikonstruksi dengan pondasi tipe-C tidak akan mengalami gagal konstruksi dalam keadaan normal. Sehingga patut diduga ada faktor-faktor non teknis seperti pada tanggal 21 juni 2021, terjadi hujan lebat disertai dengan petir dan angin kencang mencapai 20

knot dari arah timur laut) dan intensitas hujan pada jam 21.00 – 22.00 WITA terukur 25.3 mm/jam (**Sangat Lebat**), menjadi penyebab rubuhnya tiang listrik NA0185 A7.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kami ucapkan kepada Direktur Politeknik Negeri Bali yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. W. Shyu, "A framework of basic human energy needs for decent quality of life at household level: policy implications for enhancing energy justice and meeting SDG7," *J. Asian Public Policy*, vol. 00, no. 00, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1080/17516234.2024.2446020.
- [2] S. Li, S. Yu, and Y. Feng, "Progress in and prospects for electrical insulating materials," *High Volt.*, vol. 1, no. 3, pp. 122–129, 2016, doi: 10.1049/hve.2016.0034.
- [3] M. Á. Hugo, R. M. J. Gabriel, V. C. R. Rafael, and T. P. Mario, "Influence of the use of ground enhancement materials on the reduction of electrical resistivity in grounding systems: a review," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 36, no. 3, pp. 1365–1378, 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v36.i3.pp1365-1378.
- [4] K. Zhang, J. Yu, and Y. Ren, "Demand side management of energy consumption in a photovoltaic integrated greenhouse," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 134, p. 107433, 2022, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107433.
- [5] C. S. Psomopoulos, G. C. Ioannidis, and Y. Karras, "Role of low-voltage/NH fuselinks rated voltage in distribution network losses. An evaluation based on the hellenic low-voltage distribution network," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 8, no. 5, pp. 803–810, 2014, doi: 10.1049/iet-gtd.2013.0520.
- [6] H. Yani, N. Aminah, Nofiansah, and M. Oktarani, "Analysis of Breaking Capacity Calculation on Busbar Room Panel at PT Trias Indra Saputra," *Int. J. Res. Vocat. Stud.*, vol. 2, no. 3, pp. 44–50, 2022, doi: 10.53893/ijrvocas.v2i3.141.
- [7] Z. S. Al-Sagar, K. G. Mohammed, and M. S. Saleh, "Improving the Performance of Ground Systems in Electric Distribution Network," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 7, pp. 5093–5096, 2018.
- [8] X. Zhang, Y. Liu, Z. Han, and H. Zhang, "Enhancing Low-Voltage Distribution Network Safety through Advanced Residual Current Protection Techniques," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 8, 2024, doi: 10.3390/app14083256.
- [9] K. Zou, S. Li, H. Zou, C. Xu, Z. Feng, and Y. Shao, "Automatic grounding protection technology for low-voltage cable in distribution network without power outage," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1915, no. 4, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1915/4/042012.
- [10] A. V. and G. C. S. T. Andritsch, "Novel insulation materials for high voltage cable systems," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 33, no. 4, pp. 27–33, 2017, doi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7956630>.
- [11] S. K. Ahmad, R. Z. Sabry, and C. Gomes, "Improving the Grounding System by Adding Bentonite to Reduce the Potential Distribution," *3rd Int. Conf. Electr. Commun. Comput. Eng. ICECCE 2021*, no. October, 2021, doi: 10.1109/ICECCE52056.2021.9514191.
- [12] J. Xu, "Neutral Grounding Fault Line Selection Algorithms for Low Voltage Side of Distribution Transformers in Civil Buildings," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1578, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1578/1/012191.
- [13] C. Widyastuti, A. Senen, and O. Handayani, "Distribution Network System Design Criteria for Evaluating the Existing Condition of Electricity in a Region," *Kilat*, vol. 10, no. 2, pp. 326–335, 2021.
- [14] D. Kv, B. Di, K. Industri, and S. Batang, "Perencanaan rancangan konstruksi dan jaringan distribusi 20 kv baru di kawasan industri segayung batang," vol. 12, no. 3, pp. 87–91, 2023.
- [15] R. I. Shaleh and N. Agus, *PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN BIAYA KONSTRUKSI JARINGAN DISTRIBUSI 20kV HASIL OPTIMASI PELIMPAHAN SEBAGIAN BEBAN FEEDER KTN 11 KE KTN 14 PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PELAYANAN PELANGGAN (UP3) YOGYAKARTA*, vol. 9, no. 4. 2020.
- [16] PLN, "Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah,"
- [17] J. & Sunaya, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, 1st ed. Denpasar: CV GANESHA PUBLIKASI MANDIRI, 2025.

- [18] I. W. Jondra, I. M. Dirgayusa, I. N. S. Triadi, M. Sudana, and I. N. Sunaya, “Pondasi Tipe C dan Trek Angker Memenuhi Syarat Teknis Sebagai Penopang Tiang Sudut,” vol. 3, no. 2, pp. 71–80, 2025.
- [19] PT. PLN (Persero), “Disain Kriteria Jaringan Distribusi,” 2018.
<https://www.scribd.com/document/390069674/Kriteria-Desain-JarDist-Handout>
- [20] PT. PLN (Persero), “Buku 1 Kriteria Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik,” *PT PLN*, p. 170, 2010.
- [21] H. S. Alius and N. Hariyanto, *Perancangan Sistem Transmisi Daya Listrik Bertegangan 150 KV dan Berkapasitas 35 MVA di*, vol. 2, no. 4. 2014.
- [22] A. Noor, “TERHADAP DAYA DUKUNG AKTUAL TIANG BERDASARKAN DATA SONDIR DAN LOADING TEST,” no. 1, 2014.
- [23] U. C. Sari, M. N. Sholeh, M. M. A. Pratama, and I. J. Aritonang, “BETON BULAT MENGGUNAKAN STANDARD PENETRATION TEST (SPT),” vol. 26, no. 1, pp. 38–47, 2021.
- [24] M. R. Ismail, “Analisis Perhitungan Daya Dukung Pondasi Footplate dengan Menggunakan PHP script,” vol. 3, no. 3, pp. 483–492, 2015.
- [25] D. Murdiyanto, B. S. Yoedono, and A. H. Patty, “Review Kuat Tekan Beton Polos dari Perspektif Mekanika Fraktur,” vol. 3, no. 2, pp. 122–127, 2018.
- [26] R. Ardiyanti, M. R. Hasrul, M. J. Rahman, M. Asnur, K. Muddin, and F. A. Yusuf, “Perbandingan daya dukung tiang pancang dengan metode empiris (standard penetration test) Mayerhof, Terzaghi, dan Vesic,” vol. 17, no. 2023, pp. 277–283, 2022.
- [27] L. A. W. Tiara Maharani a, , Indra Nurtjahjaningtyas, “Desain Ulang Dinding Penahan Tanah Menggunakan Dinding,” vol. 4, no. April, pp. 142–154, 2022.
- [28] B. Das Capitulo, “Earth anchors: General.” *Earth anchors: General*, 2013. [Online]. Available: https://www.scribd.com/document/265919017/Earth-Anchors?utm_source=chatgpt.com
- [29] A. Al Roniri, “Informasi Cuaca,” *Jembrana*, 2024.