

JUTEKS - JURNAL TEKNIK SIPIL
E-ISSN: 2621-9786 | P-ISSN: 2527-5496 | DOI prefix: 10.32511

Asesmen Stabilitas Geoteknik dan Rekomendasi Perbaikan Tanah dengan *Soil Grouting* dan *Drainage Tunnels* (Studi kasus: Pergeseran dinding penahan tanah pondasi tower transmisi)

*Heri Khoeri^{1,2}, Wisnu Isvara³, Roberto Pradana¹

¹PT. Hesa Laras Cemerlang, , <https://hesa.co.id>

²Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta

³Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

*)heri.khoeri@umj.ac.id

Abstract

The detection of a retaining wall displacement in early 2023 at one of the DD6+12 transmission tower sites raised concerns about the tower's stability, potentially leading to structural failure. A comprehensive assessment was conducted on the tower's verticality, retaining wall displacement, subsurface conditions, and soil properties around the tower area. The assessment results revealed a linear inclination of the transmission tower from the base to the top, with a deflection at the top of approximately ± 20 cm to the south and ± 7 cm to the west. With this condition, some structural elements reached a stress-to-permitted stress ratio of 0.91. Although still within allowable limits, without soil stabilization, it is at risk of structural failure. GPR scan results showed differences in foundation dimensions compared to the as-built drawings and identified cavities filled with water beneath the ground surface due to poor drainage, resulting in a safety factor of 1.088, whereas the required safety factor is 1.5. This condition caused the retaining wall displacement. Recommendations including constructing drainage tunnels upstream, soil grouting, installing wheel holes in the retaining walls, and adding secant piles would increase the safety factor to 1.988.

Keywords: landslide, soil improvement, foundation, slope stability, tower

Abstrak

*Terdeteksinya pergeseran dinding penahan tanah pada awal tahun 2023 di salah satu lokasi tower transmisi DD6+12, dikhawatirkan akan mengganggu stabilitas tower yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur tower. Asesmen dilakukan secara komprehensif terhadap verticality tower, pergeseran dinding penahan tanah, kondisi di bawah permukaan tanah, dan sifat-sifat tanah di sekitar area tower. Hasil asesmen menunjukkan adanya kemiringan pada tower transmisi secara linier dari bawah ke puncak, dengan defleksi di puncak ± 20 cm ke arah selatan dan ± 7 cm ke barat. Dengan kondisi ini rasio tegangan terhadap tegangan ijin elemen struktur ada yang mencapai 0.91. Walaupun masih dalam batas ijin, jika stabilitas tanah tidak diperbaiki, dikhawatirkan tower akan mengalami kegagalan struktur. Scan GPR menunjukkan adanya perbedaan dimensi pondasi dengan as built drawing dan ditemukan adanya rongga di bawah permukaan tanah yang terisi air karena tidak terdrainasi dengan baik, dimana faktor keamanan dalam kondisi ini 1,088 sementara yang disyaratkan 1,5. Kondisi ini yang menyebabkan terjadinya pergeseran dinding penahan tanah. Rekomendasi pembuatan terowongan drainasi (*drainage tunnels*) di sisi hulu, *soil grouting*, pemasangan *wheel hole* pada dinding penahan tanah dan menambahkan *secant pile*, akan menaikkan faktor keamanan menjadi 1,988.*

Kata kunci: longsor, perbaikan tanah, pondasi, stabilitas lereng, tower,

Pendahuluan

Tingkat keamanan suatu lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah faktor kemiringan dan beban yang bekerja. Kondisi lereng dengan beban yang besar dan kemiringan yang

curam dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran (Imran et al., 2020), (Badaruddin & Khoeri, 2017). Kelongsoran lereng kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Itu terjadi akibat peningkatan tekanan air pori pada lereng. Hal ini berakibat pada terjadinya penurunan kuat geser tanah (c') dan

sudut geser dalam (ϕ') selanjutnya menyebabkan kelongsoran. Kerusakan akibat longsor bukan hanya kerusakan secara langsung seperti rusaknya fasilitas umum, hilangnya lahan-lahan pertanian, korban jiwa, tetapi juga kerusakan tidak langsung yang melumpuhkan kegiatan ekonomi dan pembangunan daerah (Wesley, 2017). Infiltrasi air hujan adalah faktor penting dalam terjadinya kegagalan lereng, karena air yang meresap dapat secara signifikan melemahkan kekuatan geser tanah tidak jenuh. Saluran drainase horizontal umumnya digunakan untuk menyediakan drainase yang sesuai agar air hujan dapat meresap keluar dari lereng (Zhang et al., 2023). Efek destabilisasi air tanah juga salah satu penyebab utama longsor. Upaya menurunkan air tanah menjadi cara yang efisien untuk menstabilkan massa tanah. Diantara upaya ini adalah dengan membuat terowongan drainase yang memiliki beberapa keunggulan, meskipun biaya konstruksinya relatif tinggi (Bilfinger et al., 2020). Upaya lainnya adalah dengan dinding penahan tanah, yang merupakan konstruksi untuk menahan tanah agar tidak longsor. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam analisis dinding penahan tanah antara lain tipe dinding, tekanan lateral tanah, berat jenis tanah, dan kondisi tanah. Selain itu, perlu juga memperhatikan gaya guling, geser, serta daya dukung tanah dari dinding yang telah didesain tersebut (Halim et al., 2020).

Adanya temuan pergeseran dinding penahan tanah pada awal tahun 2023 di salah satu lokasi tower transmisi DD6+12 (Gambar 1), dikhawatirkan akan mengganggu stabilitas tower yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur tower.

Gambar 1. Kondisi dinding penahan tanah yang mengalami pergeseran

Asesmen dilakukan untuk mengetahui performa sistem struktur tower, stabilitas pondasi, dan mendapatkan rekomendasi penanganan dan perbaikan yang diperlukan yang menjamin faktor keamanan dan pemenuhan peraturan yang berlaku.

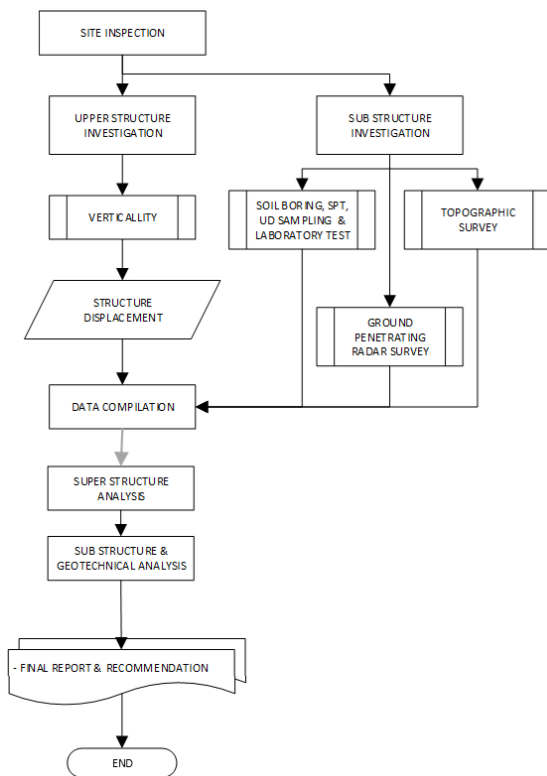
Gambar 2. As built drawing denah pondasi tower

Gambar 3. Potongan A-A pondasi tower

Metode

Proses asesmen dilakukan dengan melakukan serangkaian investigasi pada struktur tower dan pondasi (as built drawing pondasi dan dinding penahan tanah seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3), baik dengan pengukuran dan pengujian lapangan, juga analisis untuk mengetahui performa eksisting dengan kondisi yang ada dan performa setelah dilakukan upaya sesuai dengan rekomendasi perbaikan yang diusulkan.

Diagram alir tahapan metodologi asesmen seperti diberikan pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Alur tahapan asesmen

Investigasi struktur atas (Tower)

1. Inspeksi awal dilakukan untuk identifikasi awal masalah stabilitas yang ada di lapangan, sebagai dasar untuk menentukan jenis pengukuran, pengujian dan analisis yang diperlukan.
2. Pengukuran vertikaliti tower dilakukan untuk memastikan seberapa besar tower terdefleksi apakah masih dalam batas toleransi.
3. Pengujian mutu material dengan NDT

Investigasi tanah, struktur bawah dan pondasi

1. Pengukuran topografi dan situasi (BSN, 2002) dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan kondisi permukaan tanah struktur dinding penahan tanah aktual dibandingkan dengan *as built drawing*, yang lebih lanjut akan digunakan dalam analisis stabilitas geoteknik.

2. Investigasi Tanah, investigasi yang dilakukan meliputi pengeboran tanah, *standard penetration test (SPT)*, pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*UDS*) (BSN, 2019), dan pengujian laboratorium *UDS (index dan engineering properties)* (BSN, 1998), (ASTM, 2017) (BSN, 2008), (ASTM, 2020), (BSN, 2018), (ASTM, 2018), (ASTM, 2023).
3. *Ground Penetrating Radar, GPR* merupakan alat untuk deteksi objek di bawah permukaan tanah (*subsurface*). *GPR* bekerja dengan sinyal radio (*EM*) dengan bentuk, *prf (pulse repetition frequency)*, dengan energi dan durasi tertentu. (Proceq, 2022). *GPR* dilakukan untuk pemindaian kondisi di bawah tanah seperti mendeteksi kemungkinan adanya rongga, aliran air bawah tanah dan juga mendeteksi kesesuaian pondasi aktual dengan *as built drawing*.

Analisis struktur atas (tower)

Analisis struktur dilakukan untuk memastikan tegangan yang terjadi akibat adanya defleksi masih dalam batas ijin, dan analisis dengan rekomendasi perkuatan (jika diperlukan). Mutu baja yang digunakan ada dua tipe, yaitu SS540 ($f_y = 400$ MPa, $f_u = 540$ Mpa) dan SS400 ($f_y = 245$ MPa, $f_u = 400$ Mpa). Kriteria perhitungan menggunakan desain kekuatan Ijin (BSN, 2020).

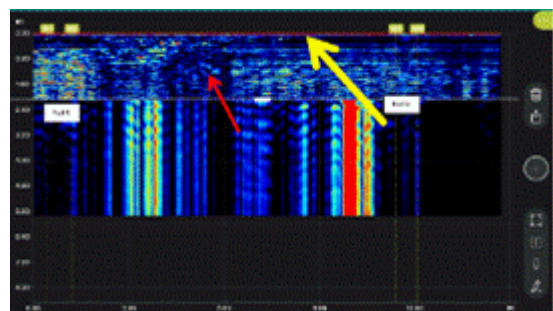
Analisis struktur struktur bawah dan stabilitas geoteknik (tower)

Analisis struktur bawah dan stabilitas geoteknik dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan kondisi aktual dan memberikan rekomendasi perbaikan dan stabilisasi geoteknik untuk menaikkan faktor keamanan. Kriteria analisis mengacu pada SNI 8640:2017; Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017 (BSN, 2017).

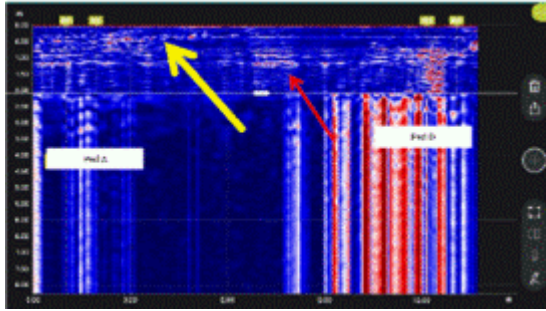
Hasil dan Pembahasan

Ringkasan data hasil investigasi lapangan

Hasil scan *GPR* mendeteksi adanya rongga yang terisi air di kedalaman 0-1 m pada jarak 3 m dari pedestal C (Panah Kuning Gambar 5) dan di kedalaman 1-3 m di area Pedestal C (Panah merah Gambar 5).



Gambar 5. Radiogram Scan Pedestal C ke Pedestal B



Gambar 6. Radiogram Scan Pedestal A ke Pedestal D

Teridentifikasi adanya indikasi rongga yang terisi air di kedalaman 0-1 m dekat Pedestal A (Panah Kuning Gambar 6) dan kedalaman 1-3 m di area Pedestal D (Panah Merah Gambar 6). Dari hasil analisa data Radiogram pada lokasi tower maka estimasi Dimensi pondasi Tower T129 dan adanya indikasi kantung air seperti pada Gambar 7.

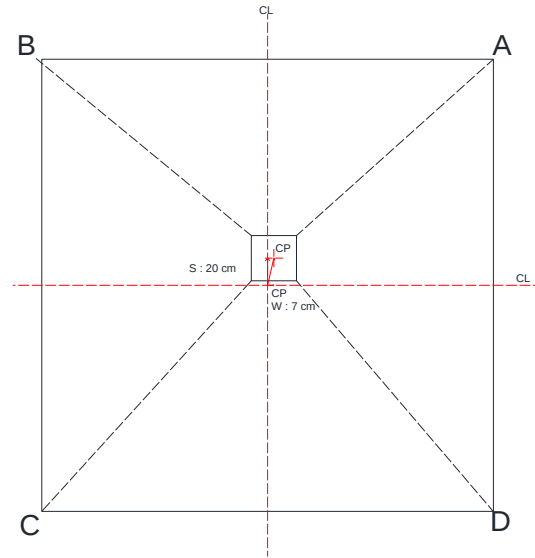


Gambar 7. Dimensi pondasi hasil interpretasi radiogram scan pedestal A ke pedestal D dan indikasi adanya kantung air

Warna merah pada Gambar 7, mengindikasikan *possible water channeling* pada kedalaman 0-1 m, dan warna kuning mengindikasikan tanah sangat lunak di kedalaman 1-3 m.

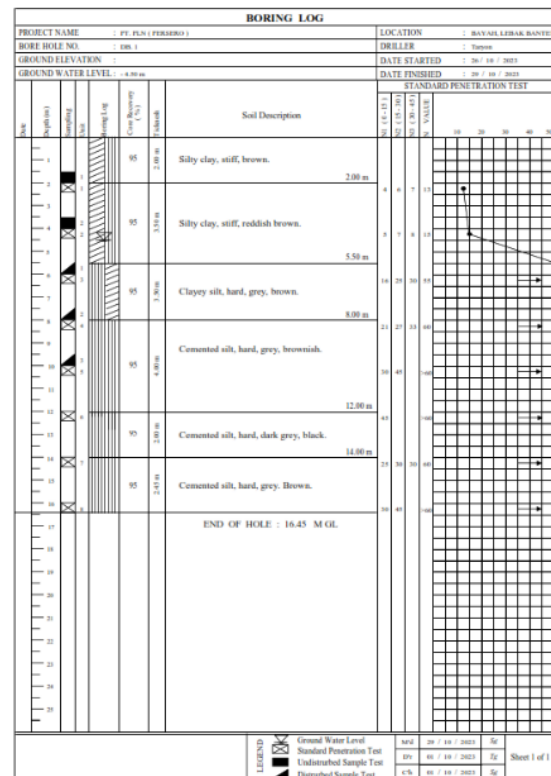
Untuk mendapatkan hasil yang komprehensif, maka dilakukan perbandingan center point dari kaki tower hingga puncak tower. Jika menunjukkan kecenderungan kemiringan ke arah yang sama, maka dapat disimpulkan bahwa objek yang diukur miring.

Dari hasil analisa pengukuran ditemukan adanya perbedaan posisi Centre Point pada Kaki Tower (elv. +0,00), bagian tengah tower (elv. +21,00 m) dan centre point puncak tower (elv. +41,50). Deviasi Centre Point Atas bergeser sebesar ± 20 cm kearah selatan dan ± 7 cm kearah barat.

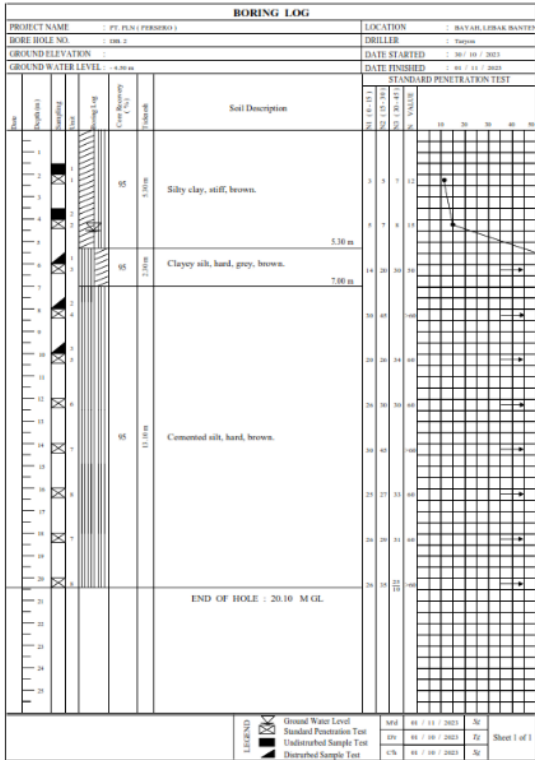


Gambar 8. Ilustrasi hasil vertikaliti

Deviasi Centre Point bisa juga diukur dengan menggunakan metode Plumb-Bob dengan menempatkan unting- unting pada Centre Point Atas Tower dan menarik garis diagonal pada Sumbu BD dan AC. Jarak unting unting dan garis sumbu BD akan didapat 20,3 cm, sementara jarak unting unting dengan garis sumbu AC sebesar 7,8 cm.



Gambar 9. grafik bore hole (DB-1)



Gambar 10. grafik bore hole (DB-2)

Tabel 1. Deskripsi lapisan tanah

Titik	Deskripsi Lapisan Tanah		
	Kedalaman (m)	Deskripsi	NSPT
DB.1	0.0 – 5.5	"Stiff" Silty Clay, CH warna coklat hingga coklat kemerahan, plastisitas tinggi.	13-15
	5.5 – 8.0	"Hard" Clayey Silt, ML warna coklat keabu-abuan, plastisitas rendah hingga sedang, mengandung sedikit pasir halus	55
	8.0 – 16.45	"Hard" Silt, ML warna abu-abu kehitaman dan abu-abu kecoklatan, plastisitas rendah, cemented.	> 60
DB.2	0.0 – 5.3	"Stiff" Silty Clay, CH warna coklat, plastisitas tinggi.	12-15
	5.3 – 7.0	"Hard" Clayey Silt, ML warna coklat keabu-abuan, plastisitas rendah hingga sedang, dengan sedikit pasir halus	50
	7.0 – 20.10	"Hard" Silt, ML warna coklat, plastisitas rendah, cemented.	> 60

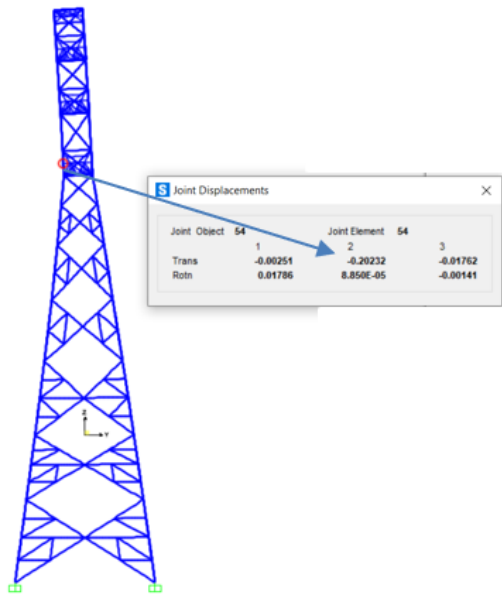
Berdasarkan hasil dari penyelidikan tanah diketahui muka air tanah di kedalaman -4,5 dengan deskripsi tanah seperti Tabel 1.

Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium Sampel Tanah

[illegible]

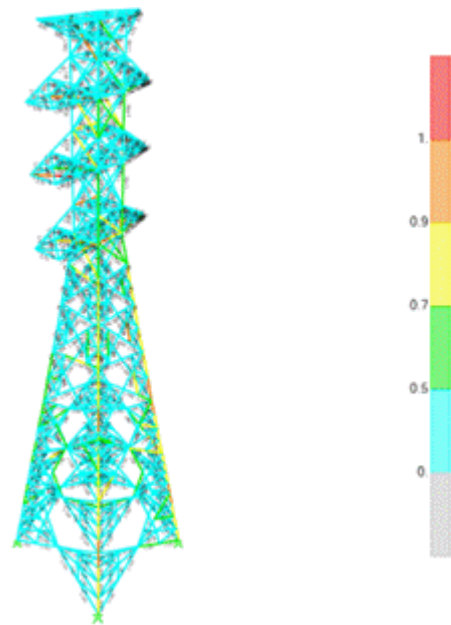
Analisis struktur atas (tower)

Tower DD6+12 m dengan kondisi terdeformasi sesuai dengan hasil *verticallity*, dianalisis dengan pembebanan yang merepresentasikan defleksi yang terjadi sesuai dengan hasil *verticallity*.



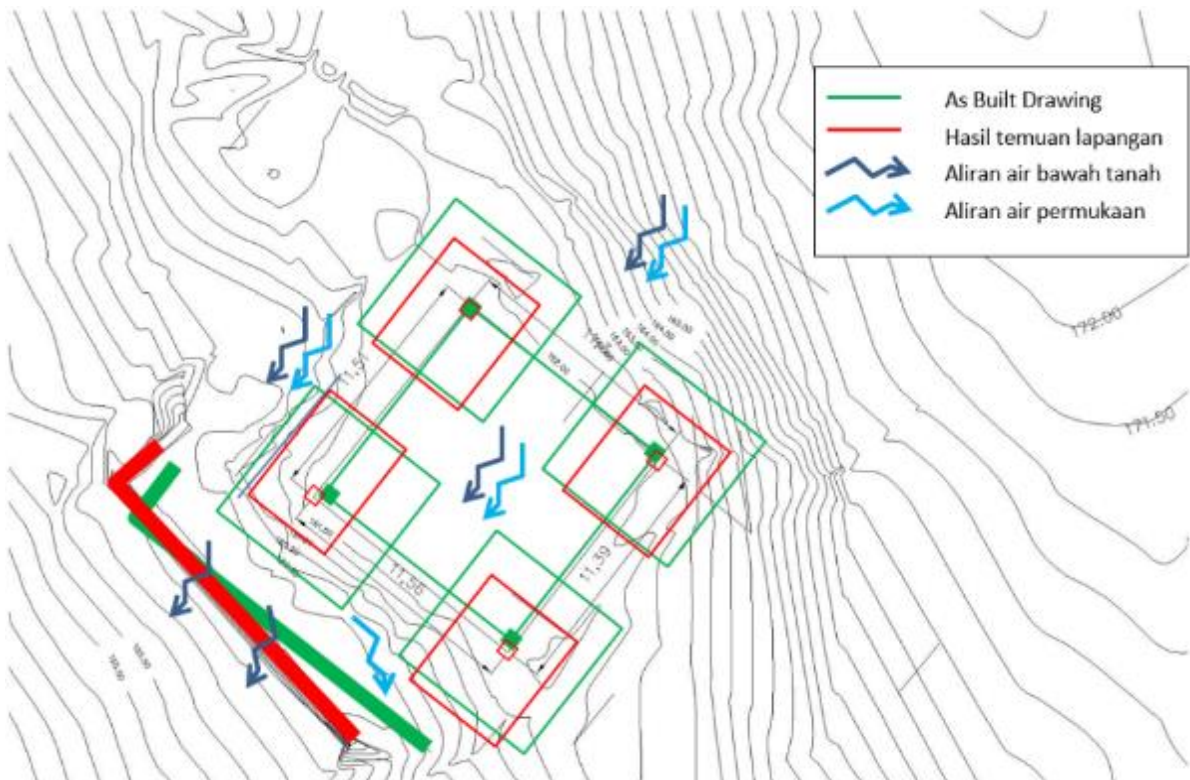
Gambar 11. Struktur Tower DD6 + 12 m, dengan defleksi 20 cm

Rasio tegangan (Demand/Capacity Ratio) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 12. Stress ratio Tower T.129 DD6 + 12 m

Dari hasil analisis dengan kondisi kemiringan tower sesuai dengan kondisi aktual menunjukkan bahwa ratio tegangan pada beberapa elemen tower sudah mendekati 1 ($SF=1,5$). Jika tidak segera dilakukan penanganan dan pergerakan masih terjadi maka SF akan menjadi kurang dari 1,5 dan berpotensi akan mengalami kegagalan jika $SF < 1$.

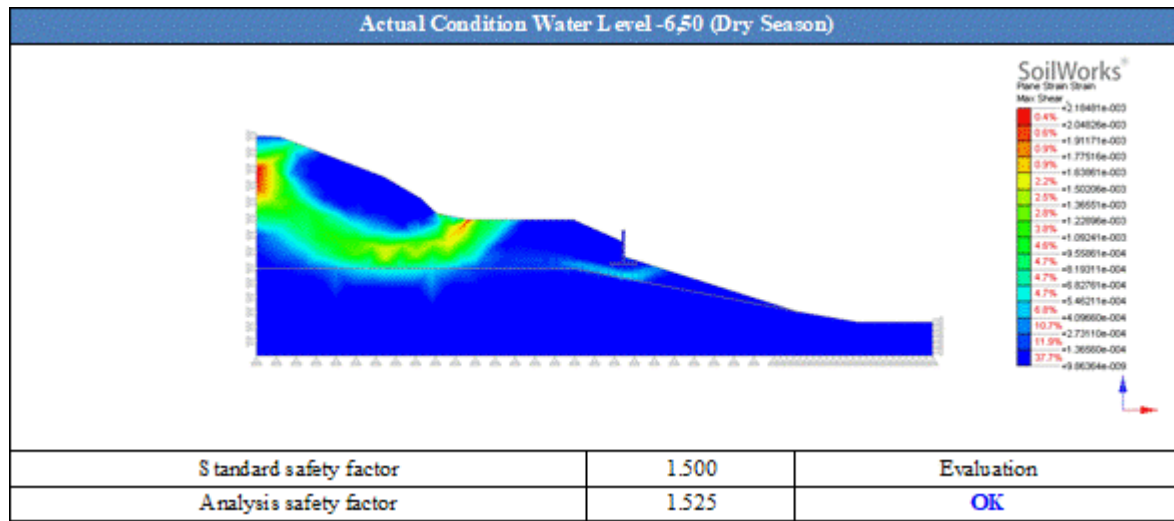


Gambar 13. Ilustrasi as built drawing dibandingkan dengan hasil investigasi lapangan

Analisis Geoteknik

Berdasarkan kajian data sekunder, hasil investigasi lapangan, hasil pemodelan dan analisis, proses terjadinya pergerakan tanah, dinding penahan tanah, pondasi tower serta kemiringan pad tower diidentifikasi seperti dalam Gambar 13.

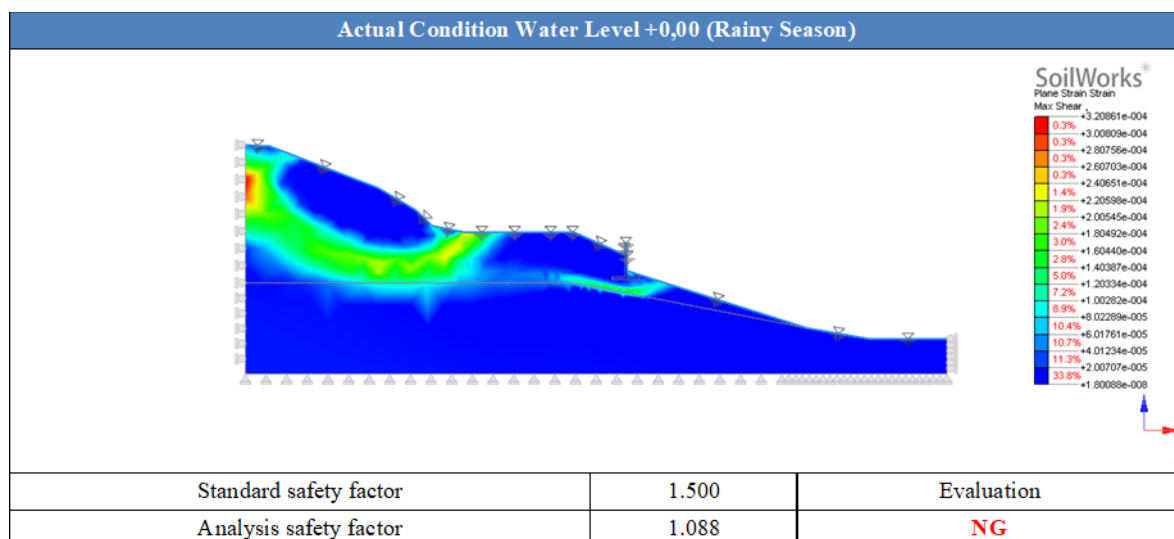
Hasil analisis geoteknik dengan kondisi muka air tanah normal (pada saat musim kemarau) dimana muka air tanah berada pada -6.50 m di bawah permukaan tanah menunjukkan *safety factor* (SF) untuk stabilitas lereng tersebut adalah 1.525 ($SF_{min} > 1,50$). Seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



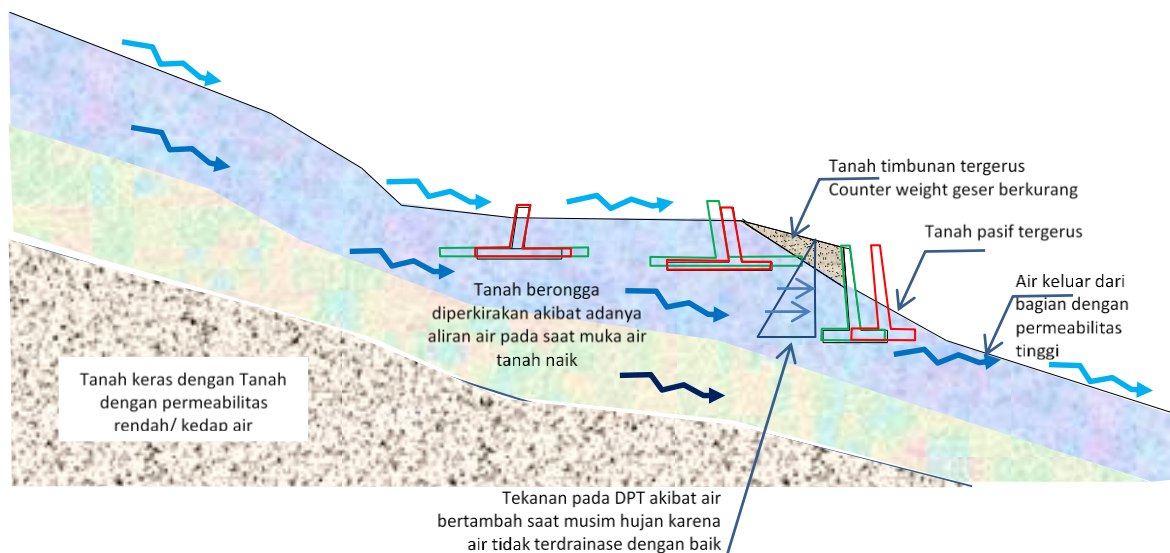
Gambar 14. Hasil analisis MIDAS dengan kondisi eksisting ketika muka air tanah pada kondisi normal

Ketika curah hujan tinggi, maka muka air tanah akan naik sampai ke permukaan. Hal ini mengakibatkan tanah di belakang dinding penahan tanah tergerus. Berdasarkan *scan* GPR kondisi di bawah permukaan tanah diindikasikan terdapat rongga dan air, di bawah area pondasi tower. Pada kondisi ini DPT mendapatkan tambahan beban dari tekanan air tanah. Dengan ketinggian dinding penahan tanah 4 m, dan tekanan tanah pasif di depan DPT juga sudah terkikis, maka beban tambahan akibat air pada bagian bawah DPT bisa mencapai 4 ton/m'. Tergerusnya tanah pada sisi luar DPT mengurangi tekanan tanah pasif.

Aliran air tanah permukaan yang tertahan oleh DPT menggerus tanah timbunan di sisi dalam DPT yang mengurangi *counter weight* akibatnya stabilitas guling dan geser berkurang, Kondisi-kondisi ini yang menyebabkan DPT bergeser. Dibuktikan dengan analisis geoteknik yang menunjukkan pada kondisi tersebut *safety factor* menjadi $1,088 < 1,5$, dengan pergeseran antara 50 cm sd 100 cm, seperti hasil temuan lapangan yang diilustrasikan pada Gambar 13. Akibat tergerusnya tanah permukaan dan adanya rongga bawah tanah di bawah pondasi tower mengakibatkan daya dukung pondasi telapak berkurang seperti ilustrasi pada Gambar 16.

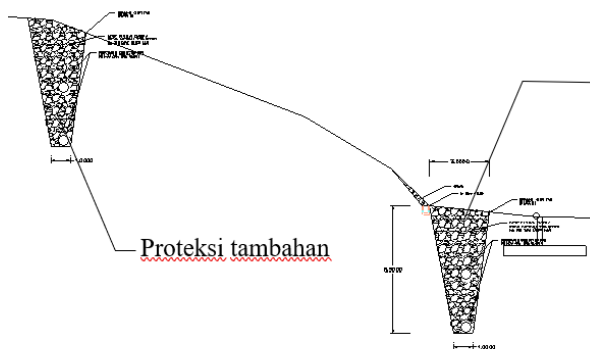


Gambar 15. Hasil analisis MIDAS dengan kondisi eksisting ketika muka air tanah naik sampai permukaan

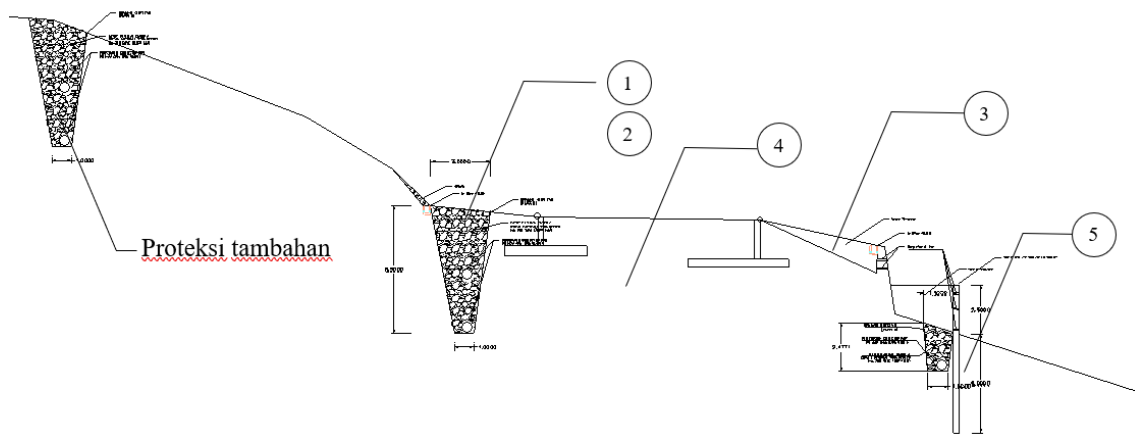


Hal ini mengakibatkan penurunan tanah sebesar 16 cm dan pergeseran sebesar 11 cm. Hasil analisis geoteknik menunjukkan pembenaran atas hipotesa tersebut. Walaupun daya dukung tanah masih dalam batas yang diijinkan, namun jika kondisi ini masih belum stabil, tentunya akan terus mengurangi *safety factor* dan membahayakan kondisi tower.

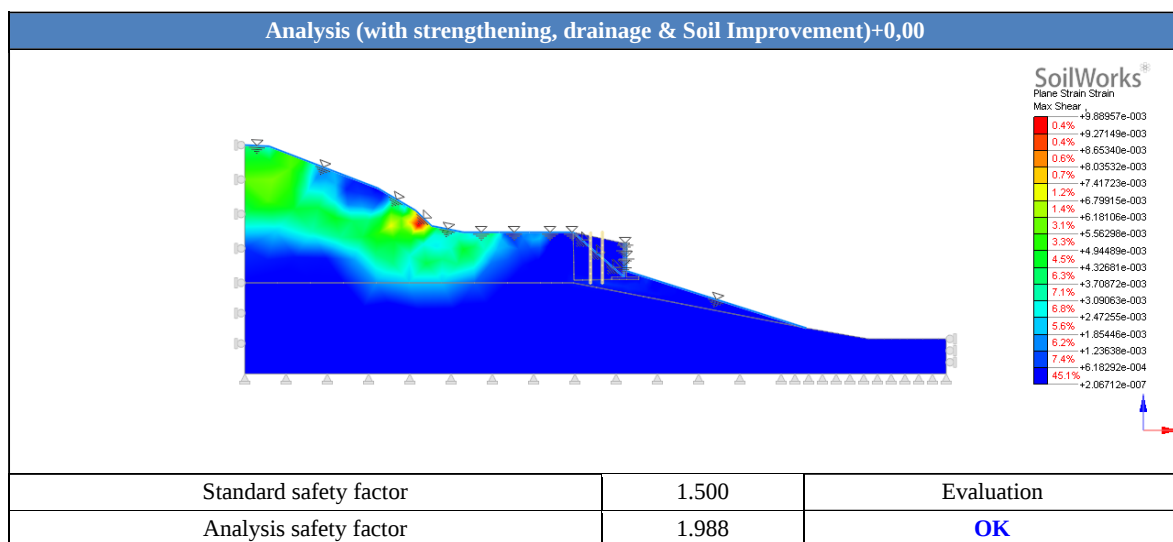
Untuk mengatasi masalah ada beberapa langkah yang harus dilakukan: (1) Mengalihkan aliran air yang menuju area tower dan DPT baik aliran air tanah maupun air permukaan. Untuk mengalihkan aliran air tanah dilakukan penggalian pada sisi hulu (utara) tower dilakukan penggalian sampai dengan tanah dengan permeabilitas rendah sekitar 6,5 m selebar 1-1,5 m kemudian dilapis dengan lapisan *drainage geotextile* dan diisi dengan *filter material class A* (gravel material >15% melewati saringan no. 200) dan 2 buah *perforated collector pipe 15"* (lihat



Gambar 17). (2) Untuk mengurangi aliran air permukaan dipasang drainase u-ditch 40x60 di sisi hulu (utara tower). (3) Mengembalikan tanah timbunan di antara pondasi dengan DPT untuk menaikkan *counter weight* yang meningkatkan *safety factor* terhadap potensi guling dan geser. Selain itu pemasangan *wheep hole* untuk merelease air di belakang DPT akan sangat membantu mengurangi tekanan air pada saat muka air tanah naik. (4) Rongga-rongga pada bagian bawah yang tergerus akibat aliran air tanah diisi Kembali dengan *soil grouting*. Penambahan *soil grouting* mengurangi potensi penurunan pondasi dan menambah *safety factor* daya dukung vertikal tanah dan pondasi. (5) Mempertimbangkan DPT yang berada pada lereng tanpa tekanan tanah pasif, maka direkomendasikan dilakukan pemasangan *secant pile* diameter 30 cm sepanjang 7,5 m di depan (selatan) dinding penahan tanah, 2,5 m di atas permukaan tanah, berfungsi sebagai penambah tekanan pasif, dan 5 m di bawah permukaan tanah untuk memotong bidang gelincir lereng.



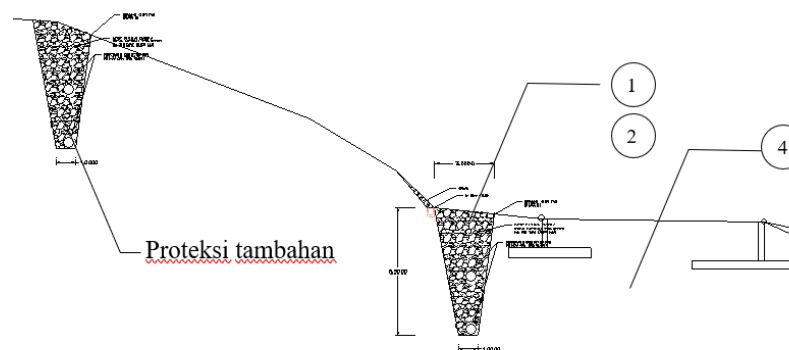
Gambar 17. Rekomendasi proteksi stabilitas lereng tower trnsmisi DD6+12



Gambar 18. Hasil analisis MIDAS dengan perbaikan mengembalikan timbunan tanah antara DPT dan tower dengan timbunan pilihan, pemasangan wheep hole pada DPT dan secant pile di sisi depan DPT

Solusi alternatif sebagai proteksi tambahan yang dapat mengurangi potensi infiltrasi air yang menggerus bagian bawah pondasi dan menambah beban lateral akibat tidak berfungsinya *wheep hole* adalah dengan menambahkan *drainage tunnels* lebih naik ke arah hulu.

Potongan melintang rekomendasi perbaikan seperti diberikan pada



Gambar 17. Dengan melakukan rekomendasi perbaikan yang diusulkan, maka berdasarkan analisis geoteknik (Gambar 18), *safety factor*-nya menjadi 1,988 ($SF_{min}=1,50$).

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisis struktur atas, pemodelan tower DD6+12 dengan defleksi 20 cm rasio tegangan elemen dan tegangan ijin sudah mencapai 0,91 (Batas rasio 1,00 dengan *safety factor* 1,50). Defleksi yang terjadi dikarenakan adanya penurunan dan pergeseran pondasi yang diakibatkan dinding penahan tanah di sisi barat dan selatan bergeser. Pergeseran dinding penahan tanah terjadi karena stabilitasnya terganggu akibat penambahan beban lateral air yang tidak terdrainase dengan baik yang menambah tekanan lateral pada dinding penahan tanah. Sementara air juga menggerus tanah di bagian bawah pondasi tower yang mengakibatkan penurunan pondasi.
 2. Berdasarkan hasil analisis geoteknik kondisi aktual dengan elevasi air pada saat hujan dengan pemodelan elevasi air mencapai permukaan tanah didapatkan faktor keamanan 1,088 < 1,50, kondisi ini yang menyebabkan terjadinya pergeseran dinding penahan tanah. Rekomendasi pembuatan terowongan drainasi (*drainage tunnels*) untuk mengalirkan limpasan air tanah dari arah hulu akan menurunkan elevasi muka air tanah di bawah tower menjadi -6,50m, melakukan *soil grouting*, pemasangan wheel hole pada DPT dan menambahkan *secant pile*, perkuatan dan perbaikan ini akan menaikkan faktor keamanan menjadi 1,988.
- ## Daftar Pustaka
- Alhusain, A. S. (2019). *Challenges, Constraints and Efforts for Development of Electricity Infrastructure in Riau Province and South Sulawesi Province*. <http://makassar>.
- ASTM. (2017). *ASTM D4318-17e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*.
- ASTM. (2018). *D2573M-18, Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Saturated Fine-Grained Soils*.
- ASTM. (2020). *ASTM D4767-20, Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*.
- ASTM. (2023). *ASTM D2850-23, Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils*.
- Badaruddin, B., & Khoeri, H. (2017). Analisis Numerik Pada Perpindahan Abutment Jembatan Akibat Konstruksi Tanggul: Studi Kasus Pada Jembatan Yang Dimiliki Oleh Perkebunan Kelapa Sawit. *Konstruksia*, 8(2).
- Bhuiyan, M. R., Masum, S. R., Parvej, M. T., & Sanuwar, S. M. (2024). An Overview of Soil Improvement through Ground Grouting. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 12(01), 51–63. <https://doi.org/10.4236/gep.2024.121004>
- Bilfinger, W., F.S. de Mello, L. G., & Dzialoszynski, B. S. (2020). Stabilization of major soil masses using drainage tunnels. *Soils and Rocks*, 43(3), 397–418. <https://doi.org/10.28927/SR.433397>
- BSN. (1998). *SNI 03-4804-1998, Metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat* (439/BSN-I/HK/08/1998).
- BSN. (2002). *SNI 19-6724-2002, Jaring kontrol horizontal*.
- BSN. (2008). *SNI 3423: 2008, Cara uji analisis ukuran butir tanah*.
- BSN. (2017). *SNI 8640:2017; Persyaratan perancangan geoteknik*. www.bsn.go.id
- BSN. (2018). *SNI 2813: 2018, Cara Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase*.
- BSN. (2019). *SNI 4153:2019, Metode uji penetrasi standar (SPT) dan pengambilan contoh tanah dengan tabung belah (ASTM D 1586-11, IDT)* (458/KEP/BSN/10/2019).
- BSN. (2020). *SNI 1729: 2020; Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*.
- da Rocha Gomes, S., Ferrara, L., Sánchez, L., & Moreno, M. S. (2023). A comprehensive review of cementitious grouts: Composition, properties, requirements and advanced performance. *Construction and Building Materials*, 375, 130991. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130991>
- Halim, J. B., Chaidir, D., & Makarim, A. (2020). Analisis Dinding Penahan Tanah di Daerah Aliran Sungai Menggunakan Program MIDAS GTS NX. In *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* (Vol. 3, Issue 4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24912/jmts.v3i4.8374>
- Imran, F., Afriani, L., & Zakaria, A. (2020). Analisa Kestabilan Lereng dan Metode Penanganannya Pada Tanah Lempung Berpasir. *JRSDD*, 8(1), 181–192.
- Iqbal, M., & Armono, H. D. (2023). Pemakaian Temporary Tower untuk Optimalisasi Penyelesaian Rekonduktoring dan Penggantian Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV. *Rekayasa*, 16(2), 257–264. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i2.21105>
- Juenger, M. C. G., Snellings, R., & Bernal, S. A. (2019). Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. *Cement and Concrete Research*, 122, 257–273. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.008>
- Proceq. (2022). *Proceq GS8000 GPR Quick Start Guide & Product Certificates*.

Tambunan, J. M., & Mulyono, H. (2019). Reposisi dan Penggantian Menara Transmisi 150 kV. *TESLA*, 21(2).

Wesley, L. D. (2017). *Mekanika Tanah: Edisi Baru*. CV. Andi Offset.

Zhang, X., Wang, H., Gao, Z., Xiang, K., Zhai, Q., Satyanaga, A., & Chua, Y. S. (2023).

Evaluation of the Performance of the Horizontal Drain in Drainage of the Infiltrated Water from Slope Soil under Rainfall Conditions. *Sustainability*, 15(19), 14163. <https://doi.org/10.3390/su151914163>