

Analisis stabilitas geser dan guling pembangunan dinding penahan tanah tipe turap di Area Tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field

Norminawati Dewi^{1*}, Ahmad Ridhani Noorfauzi¹, Hasany Reyvanza¹, Tekad Budiantoro¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Rekayasa Industri, Politeknik Negeri Tanah Laut, Indonesia

*Corresponding authors: norminadewi@politala.ac.id

Submitted: 4 May 2026, Revised: 24 June 2026, Accepted: 24 June 2026

ABSTRACT: Slope instability in oil and gas operational areas can pose significant risks to facility safety and operational continuity, particularly in hilly regions affected by surface water flow and erosion. Such conditions were identified at the H13 tank area of PT Pertamina EP Sangasanga Field, where a rapidly deployable and effective slope reinforcement system was required. This study aims to analyze the stability of a portable sheet pile retaining wall constructed from zinc plates and steel tubing pipes as an alternative temporary slope stabilization system. The analysis was carried out using Rankine theory to determine lateral earth pressure and the Broms method to evaluate the lateral capacity of the supporting piles. Soil parameters were obtained from Standard Penetration Test (SPT) data, indicating cohesive clay soil conditions with an internal friction angle of 25°, cohesion of 16 kN/m², and a unit weight of 19 kN/m³. The results show that the active earth pressure coefficient (K_a) is 0.405, producing a total bending moment of 53.115 ton·m acting on the sheet pile structure. The lateral capacity analysis indicates that the supporting piles behave as long piles and possess sufficient capacity to resist the applied lateral loads. Stability evaluation against sliding yielded a safety factor of 2.075, indicating that the system is stable and safe under the analyzed conditions. The findings demonstrate that the combination of zinc plates and steel tubing pipes can provide adequate resistance to lateral earth pressure and serve as a practical alternative for temporary slope stabilization in oil and gas operational areas. This study contributes to the limited technical knowledge regarding the application of portable sheet pile systems made from simple materials in cohesive clay soils.

KEYWORDS: broms method; lateral earth pressure; rankine theory; sheet pile; slope stability.

ABSTRAK: Ketidakstabilan lereng pada area operasional minyak dan gas bumi dapat menimbulkan risiko terhadap keselamatan fasilitas dan keberlangsungan operasi, terutama pada kawasan perbukitan yang dipengaruhi oleh aliran air permukaan dan erosi. Kondisi tersebut ditemukan pada area tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field sehingga diperlukan sistem perkuatan lereng yang dapat dipasang secara cepat dan efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah tipe turap portabel berbahan seng dan pipa baja tubing sebagai alternatif perkuatan lereng sementara. Analisis dilakukan menggunakan teori Rankine untuk menentukan tekanan tanah lateral dan metode Broms untuk mengevaluasi kapasitas lateral tiang. Data tanah diperoleh dari hasil Standard Penetration Test (SPT) yang menunjukkan tanah lempung dengan sudut geser dalam sebesar 25°, kohesi sebesar 16 kN/m², dan berat volume tanah sebesar 19 kN/m³. Hasil analisis menunjukkan koefisien tekanan tanah aktif (K_a) sebesar 0.405 yang menghasilkan momen total sebesar 53.115 ton·m pada struktur turap. Analisis kapasitas lateral menunjukkan bahwa tiang pendukung tergolong sebagai tiang panjang (long pile) dan memiliki kapasitas yang mampu menahan beban lateral yang bekerja. Evaluasi stabilitas terhadap pergeseran menghasilkan faktor keamanan sebesar 2.075 yang menunjukkan bahwa sistem turap berada dalam kondisi aman. Temuan penelitian menunjukkan bahwa kombinasi turap portabel berbahan seng dan pipa baja tubing mampu memberikan stabilitas yang memadai terhadap tekanan tanah lateral serta dapat menjadi alternatif perkuatan lereng sementara yang praktis pada area operasional migas. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa kajian teknis penerapan turap portabel berbahan sederhana pada kondisi tanah lempung yang masih terbatas dilaporkan dalam penelitian sebelumnya.

KATA KUNCI: metode broms; tekanan tanah lateral; teori rankine; turap; stabilitas lereng.

© The Author(s) 2026. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1. PENDAHULUAN

Stabilitas lereng merupakan aspek krusial dalam perencanaan konstruksi sipil, khususnya pada area dengan kondisi topografi tidak stabil dan aktivitas industri yang intensif (Komadja et al., 2021) (He et al., 2024). Kegagalan lereng dapat menyebabkan

kerusakan infrastruktur, gangguan operasional, serta potensi risiko keselamatan yang tinggi (Stirling et al., 2020). Pada sektor industri minyak dan gas, kondisi ini menjadi semakin kritis karena keberadaan fasilitas vital seperti tangki penyimpanan yang memerlukan tingkat keamanan tinggi terhadap gangguan geoteknik

(Duncan et al., 2014) (Zotsenko et al., 2018). Area tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field berada pada kawasan dengan kondisi topografi berbukit yang mengalami pengaruh aliran air permukaan terutama pada saat curah hujan tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya erosi pada kaki lereng dan berpotensi menurunkan stabilitas tanah di sekitar fasilitas tangki. Apabila tidak dilakukan penanganan yang memadai, ketidakstabilan lereng dapat mengakibatkan kerusakan fasilitas pendukung, mengganggu aktivitas operasional, serta meningkatkan risiko keselamatan kerja. Oleh karena itu, diperlukan upaya mitigasi yang mampu memberikan perlindungan lereng secara cepat dan efektif untuk menjaga keberlangsungan operasi di area tersebut.

Area tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field memiliki karakteristik berupa lereng dengan potensi erosi dan longsor yang dipengaruhi oleh aliran air permukaan. Kondisi tanah yang didominasi oleh lempung dengan sifat kohesif cenderung mengalami penurunan kuat geser akibat peningkatan kadar air, sehingga meningkatkan risiko ketidakstabilan lereng (Das & Sobhan, 2018) (Ghosh, 2013). Oleh karena itu, diperlukan sistem perkuatan yang mampu menahan tekanan tanah lateral secara efektif serta dapat diaplikasikan secara cepat di lapangan (Fathipour et al., 2021). Berbagai metode perkuatan lereng seperti Retaining Wall Beton, Sheet Pile Baja, Soldier Pile, dan Secant Pile telah banyak digunakan untuk meningkatkan stabilitas lereng. Namun, metode tersebut umumnya memerlukan waktu konstruksi yang relatif lebih lama, kebutuhan alat berat yang lebih kompleks, serta biaya pelaksanaan yang lebih tinggi. Pada kondisi operasional migas yang memerlukan penanganan cepat dengan akses kerja yang terbatas, penggunaan turap portabel menjadi alternatif yang menarik karena lebih mudah dimobilisasi, lebih cepat dipasang, dan dapat digunakan sebagai solusi perkuatan sementara tanpa mengganggu aktivitas operasional secara signifikan.

Analisis tekanan tanah lateral umumnya dilakukan menggunakan teori Rankine, yang memberikan pendekatan sederhana namun cukup konservatif dalam menentukan distribusi tekanan tanah aktif (Budhu, 2011) (Tobar & Meguid, 2010). Sementara itu, analisis kapasitas lateral tiang dapat dilakukan menggunakan metode Broms yang mempertimbangkan interaksi antara tanah dan tiang berdasarkan kondisi batas serta karakteristik tanah (Broms, 1964) (Simanjuntak et al., 2024). Kombinasi kedua metode ini banyak digunakan dalam analisis geoteknik karena mampu memberikan estimasi yang cukup akurat terhadap perilaku struktur penahan tanah.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kinerja turap sangat dipengaruhi oleh parameter tanah, kedalaman penanaman tiang, serta kondisi pembebanan lateral (Dermawan et al., 2022). Sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada penggunaan

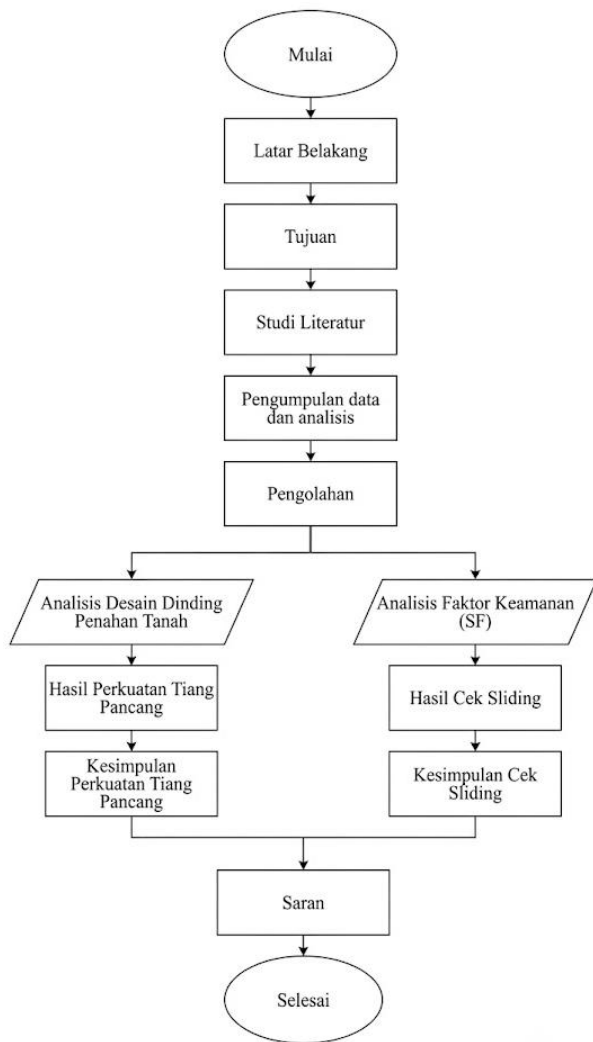
sheet pile baja konvensional, *retaining wall* permanen, maupun sistem perkuatan yang dirancang untuk penggunaan jangka panjang. Sementara itu, kajian mengenai penggunaan turap portabel berbahan seng dan pipa baja tubing sebagai sistem perkuatan lereng sementara pada lingkungan operasional migas masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian yang mengkombinasikan analisis tekanan tanah lateral menggunakan teori Rankine dan evaluasi kapasitas lateral tiang menggunakan metode Broms pada sistem turap portabel juga masih jarang dilaporkan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (*research gap*) terkait evaluasi kinerja dan stabilitas turap portabel pada kondisi tanah lempung yang berpotensi mengalami penurunan kuat geser akibat pengaruh air.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah tipe turap portabel pada area tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field menggunakan teori Rankine untuk menentukan tekanan tanah lateral dan metode Broms untuk mengevaluasi kapasitas lateral tiang. Keterbaruan penelitian ini terletak pada kajian stabilitas sistem turap portabel berbahan seng dan pipa baja tubing yang diterapkan pada area operasional migas dengan kondisi tanah lempung, yang masih terbatas dibahas dalam penelitian sebelumnya. Kontribusi penelitian ini adalah memberikan dasar teknis mengenai kinerja turap portabel sebagai alternatif perkuatan lereng sementara yang praktis, cepat dipasang, dan tetap memenuhi persyaratan stabilitas geoteknik pada kondisi lapangan yang serupa.

2. METODE

2.1. Rangkaian Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif dengan pendekatan rekayasa (*engineering approach*) untuk mengevaluasi stabilitas dinding penahan tanah tipe turap portabel (Basha & Babu, 2008). Analisis dilakukan berdasarkan perhitungan teoritis menggunakan parameter tanah hasil pengujian lapangan dan formulasi geoteknik (Flanclin et al., 2024). Pendekatan yang digunakan meliputi teori Rankine untuk analisis tekanan tanah lateral dan metode Broms untuk analisis kapasitas lateral tiang (Madhuri & Rao, 2022). Alur penelitian ini digambarkan dalam bentuk *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart tahapan penelitian

Gambar 1. Menunjukkan *flowchart* alur penelitian, yang menggambarkan tahapan sistematis yang dilakukan dalam proses perencanaan dan analisis dinding penahan tanah. Penelitian diawali dengan tahap perumusan latar belakang untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi di lapangan, kemudian dilanjutkan dengan penentuan tujuan penelitian sebagai arah utama kajian. Selanjutnya dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori yang relevan, diikuti dengan pengumpulan data dan analisis yang mencakup data tanah serta parameter teknis lainnya.

Data yang telah diperoleh kemudian melalui tahap pengolahan data, yang selanjutnya dibagi menjadi dua analisis utama, yaitu analisis desain dinding penahan tanah dan analisis faktor keamanan (*safety factor/SF*). Pada analisis desain, dilakukan evaluasi terhadap perkuatan tiang pancang, yang kemudian menghasilkan kesimpulan terkait efektivitas perkuatan tersebut. Sementara itu, pada analisis faktor keamanan dilakukan pengecekan terhadap potensi *sliding* (pergeseran), yang menghasilkan kesimpulan mengenai stabilitas struktur terhadap gaya lateral.

Hasil dari kedua analisis tersebut kemudian digabungkan untuk menyusun saran atau rekomendasi teknis, sebelum akhirnya penelitian dinyatakan selesai. *Flowchart* ini menunjukkan bahwa penelitian dilakukan secara terstruktur dengan mempertimbangkan aspek desain dan keamanan secara komprehensif (Alexei, 2022).

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada area tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field, Kalimantan Timur. Lokasi penelitian memiliki kondisi topografi berupa lereng dengan potensi ketidakstabilan akibat pengaruh aliran air permukaan. Sistem perkuatan yang dianalisis berupa dinding penahan tanah tipe turap portabel yang menggunakan kombinasi material seng dan pipa baja tubing.

2.3. Sasaran dan Target Penelitian

Sasaran penelitian ini adalah sistem dinding penahan tanah tipe turap portabel yang digunakan sebagai perkuatan lereng pada area tangki H13. Target penelitian meliputi:

1. Besaran tekanan tanah lateral yang bekerja pada turap.
2. Gaya dan momen akibat tekanan tanah.
3. Kapasitas lateral tiang penopang turap.
4. Evaluasi stabilitas sistem turap terhadap kondisi tanah lapangan.

2.4. Material dan Alat Penelitian

Material yang digunakan dalam pekerjaan ini meliputi pipa baja tubing dengan panjang 4.5 m sebanyak 6 buah dan pipa tubing panjang 3 m sebanyak 5 buah. Selain itu, digunakan turap portabel dengan dimensi 1.8 m × 9 m serta tanah timbunan di sekitar area sebagai bagian dari sistem perkuatan. Adapun peralatan yang digunakan terdiri dari *excavator* tipe PC 200, *foco crane* sebagai alat angkut, *sling belt*, *shackle*, mesin las, serta mesin potong (*cutting torch*). Untuk mendukung mobilisasi di lapangan digunakan mobil kabin. Dalam pelaksanaan pekerjaan, penggunaan alat pelindung diri (APD) menjadi hal yang wajib, meliputi sepatu *safety*, *coverall*, sarung tangan, kacamata *safety*, *safety helmet* yang dilengkapi *chain strip*, kacamata las, serta alat pemadam api ringan (APAR).

Pelaksanaan turap (*sheet pile*) diawali dengan kegiatan pembersihan area pemancangan dari semak belukar, dilanjutkan dengan pembuangan tanah longsor yang berlumpur guna menyiapkan dudukan tiang pancang. Selanjutnya dilakukan pemancangan pipa tubing sebagai penahan turap portabel menggunakan *excavator* tipe PC 200, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan turap portabel. Setelah itu, dilakukan pengelasan tulangan turap portabel ke tiang pancang untuk memastikan kekakuan struktur. Tahap berikutnya meliputi pemotongan kelebihan pipa tubing, pemancangan penahan tiang tubing utama, pemasangan sambungan (*sleeve*) pipa tubing, serta pengelasan sambungan tersebut. Setelah struktur utama

terpasang, dilakukan pengisian tanah pada area di belakang turap portabel yang telah terpasang, dan diakhiri dengan kegiatan *housekeeping* atau pembersihan area kerja untuk memastikan kondisi lapangan tetap rapi dan aman.

2.5. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil pengujian lapangan berupa Standard Penetration Test (SPT) serta data teknis dari dokumen proyek (Kurniawan, 2024). Parameter tanah yang digunakan dalam analisis meliputi:

1. Sudut geser dalam tanah (ϕ) = 25°
2. Kohesi tanah (c) = 16 kN/m^2
3. Berat volume tanah (γ) = 19 kN/m^3

Parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan tekanan tanah lateral menggunakan teori Rankine dan analisis kapasitas lateral tiang menggunakan metode Broms. Pemilihan parameter tanah didasarkan pada data investigasi tanah yang tersedia pada lokasi penelitian dan dianggap mewakili kondisi tanah yang dianalisis. Data tambahan berupa dimensi dan konfigurasi turap portabel diperoleh dari hasil observasi lapangan dan dokumentasi teknis (Tandian & Saputro, 2024).

2.6. Teknik Analisis Data

1. Analisis Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral dihitung menggunakan teori Rankine untuk kondisi tanah kohesif (Liu & Kong, 2022).

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1)$$

Tegangan vertikal dihitung sebagai:

$$\sigma_v = q + \gamma * h \quad (2)$$

Tegangan horizontal dihitung dengan:

$$\sigma_h = \sigma * Ka - 2c\sqrt{Ka} \quad (3)$$

2. Analisis Gaya dan Momen

Distribusi tekanan tanah digunakan untuk menghitung gaya total dan momen yang bekerja pada turap melalui integrasi terhadap kedalaman (Bouali et al., 2021).

3. Analisis Kapasitas Tiang

Kapasitas lateral tiang dianalisis menggunakan metode Broms untuk tanah kohesif (Hazzar et al., 2013). Hasil analisis digunakan untuk menentukan kategori tiang (*short pile* atau *long pile*) serta kapasitas maksimum terhadap beban lateral (Poorjafar et al., 2021).

4. Kriteria Evaluasi

Evaluasi stabilitas sistem turap dilakukan berdasarkan:

1. Keseimbangan gaya dan momen.
2. Kapasitas lateral tiang dibandingkan beban yang bekerja.
3. Klasifikasi tiang berdasarkan metode Broms.
4. Perilaku defleksi maksimum.

Sistem dinyatakan aman apabila seluruh kriteria stabilitas terpenuhi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Tekanan Tanah Lateral

Koefisien tekanan tanah aktif dihitung menggunakan teori Rankine. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right)$$

$$Ka = 0.405$$

Nilai koefisien tekanan tanah aktif (Ka) sebesar 0.405 menunjukkan bahwa tekanan lateral yang bekerja pada turap masih berada dalam rentang yang dapat ditahan oleh sistem perkuatan. Nilai ini menjadi dasar dalam menentukan besarnya gaya dan momen yang bekerja pada struktur turap.

3.2. Perhitungan Tegangan Horizontal di Setiap Titik

Untuk menghitung tegangan *horizontal* dilakukan perhitungan tegangan *vertical* terlebih dahulu, kemudian menghitung tegangan *horizontal*. Langkah pertama mencari tegangan *vertical* di titik 1.

$$\sigma_v = q + \gamma * h$$

$$\sigma_v = 1.7 + 1.9 * 0$$

$$\sigma_v = 1.7 \text{ t/m}^2$$

Tabel 1. Rekap hasil perhitungan tegangan *vertical* tanah aktif

Titik	$\sigma_v(\text{Ton/m}^2)$	Total (t/m^2)
1	1.7	1.7
2	$1.7 + 1.9 + 1.8$	5.12
3	$5.12 + 1.9 \times 0$	5.12
4	$5.12 + 1.9 \times 3$	10.82

Berdasarkan Tabel 1, tegangan vertikal meningkat seiring bertambahnya kedalaman tanah. Kondisi ini menunjukkan adanya peningkatan beban overburden yang selanjutnya memengaruhi besarnya tekanan tanah lateral. Langkah kedua mencari tegangan *horizontal*.

$$\sigma_h = \sigma * Ka - 2c\sqrt{Ka}$$

$$\sigma_h = 1.7 * 0.125 - 2 * 16\sqrt{0.125}$$

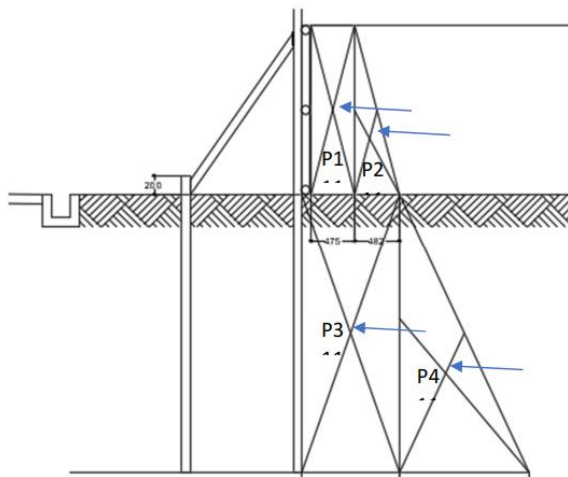
Tabel 2. Rekap hasil perhitungan tegangan *horizontal* tanah aktif

Titik	$\sigma_v(\text{ton/m}^2)$	Total (t/m^2)
1	$1.7 \times 0.405 - 2 \times 1.6 \sqrt{0.405}$	1.7
2	$5.12 \times 0.405 - 2 \times 1.6 \sqrt{0.405}$	5.12
3	$5.12 \times 0.405 - 2 \times 1.6 \sqrt{0.405}$	5.12
4	$10.82 \times 0.405 - 2 \times 1.6 \sqrt{0.405}$	10.82

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa tekanan tanah lateral semakin besar pada kedalaman yang lebih tinggi. Kondisi ini menyebabkan bagian bawah turap menerima beban yang lebih dominan dibandingkan bagian atas.

3.3. Tegangan Aktif

Gambar 2 menunjukkan distribusi tekanan tanah aktif yang meningkat terhadap kedalaman. Distribusi ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gaya total dan momen yang bekerja pada sistem turap.



Gambar 2. Tegangan aktif

3.4. Menghitung Gaya yang Bekerja pada Turap

Tabel 3. merupakan hasil perhitungan gaya-gaya tekanan tanah aktif

Tabel 3. Rekap hasil perhitungan gaya-gaya tekanan tanah aktif

P	Σv (ton/m ²)	H(m)	Luasan	P = (Luasan)xH	Total (ton)
1	1.7	1.8	Persegi	1.7 x 1.8	3.06
2	5.12	1.8	Segitiga	5.12 x 1.8	9.216
3	5.12	3	Persegi	5.12 x 3	15.36
4	10.82	3	Persegi	10.82 x 3	32.46

Berdasarkan Tabel 3, gaya tekanan tanah aktif terbesar terjadi pada lapisan terdalam sehingga memberikan kontribusi terbesar terhadap beban lateral yang harus ditahan oleh sistem turap.

3.5. Menghitung Momen yang Bekerja Pada Turap

Tabel 4. menunjukkan perhitungan momen yang bekerja pada turap.

Tabel 4. Perhitungan momen akibat tekanan tanah aktif (ke titik a di mana tiang suai dipasang)

Titik Aktif	P(ton)	Lengan/Jarak Ke Titik A (m)	Momen
1	3.06	0.5 x 0.475	0.727
2	9.216	0.5 x (0.482 x 0.475)	4.409
3	15.36	0.5 x 1.057	8.118
4	32.46	0.5 x (1.057 + 1.399)	39.861
ΣM_{Aktif}			53.115

Total momen akibat tekanan tanah aktif sebesar 53.115 ton·m menunjukkan besarnya tuntutan struktur yang harus dipikul oleh sistem turap. Nilai ini menjadi parameter utama dalam evaluasi kapasitas lateral tiang pendukung.

3.6. Tahanan Lateral Tiang Pancang Berdasarkan Defleksi Tiang Maksimum (Broms)

Tahanan lateral tiang (H) kategori tiang pancang, dapat dihitung dengan persamaan:

$$H = y_o * k_h * D / [2 * b * (e * b + 1)]$$

dengan

$$b = \left[k_h * \frac{D}{(4 * E_c * l_c)} \right]^{2.5}$$

Tabel 5. Perhitungan defleksi tiang maksimum

lc= Momen inersia penampang (m ⁴)	Lc=p/64xD ⁴ =	2.9x10-06m ⁴
e= Jarak beban lateral terhadap muka tanah (m)	e=	0.2m
Yo=Defleksi tiang maksimum (m)	Yo=	0.025m
b=Koefisien defleksi tiang	b = [khxD/(4xEcxl)]0.2	1.262m
D=Diameter tiang pancang (m)	D=	0.088m
L=Panjang tiang pancang (m)	L=	4.5m
Kh=Modulus subgrade horizontal (kN/m ³)	Kh=	2,670kN/m ³
Ec=Modulus elastis tiang (kN/m ²)	Ec=4,700 xÖfc'x103=	78,646,042.4 9 kN/m ²

$b * L = 5.58 > 2.5$, maka termasuk tiang pancang (ok) tahanan lateral nominal tiang pancang.

$$H = 0.025 * 26720 * \frac{0.088}{[2 * 1.262 * (0.2 * 1.262 + 1)]}$$

$$H = 18.591 \text{ kN}$$

Faktor reduksi kekuatan, $f = 0.9$

Tahanan lateral tiang pancang $\rightarrow f * H_n = 16.73 \text{ kN}$

3.7. Tahanan Lateral Tiang Pancang Berdasarkan Momen Maksimum (Brinch Hansen)

$$\begin{aligned} \text{Kuat lentur} \quad f_b &= 0.40 * f_c' * 103 = 11,2000 \\ \text{pipa baja} & \text{ kN/m}^2 \\ \text{tiang} & \\ \text{pancang} & \\ \text{Tahanan} & \\ \text{momen} & \quad W = lc / \left(\frac{D}{2}\right) = 0.0000669 \\ & \text{m}^3 \\ \text{Momen} & \\ \text{maksimum} & \quad My = f_b * W = 7.493 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3.8. Kohesi Tanah di Sepanjang Tiang Kedalaman

$$\begin{aligned} Z1(\text{m}) & 0 \\ Z2(\text{m}) & 3 \\ L1(\text{m}) \quad Z2-Z1 &= 3-0= 3 \\ Cu(\text{kN/m}^2) & 23 \\ Cu*L1 \quad 23*3 &= 69 \end{aligned}$$

3.9. Kohesi Tanah

$$cu = \frac{[cu * L1]}{L1} = 23 \text{ kN/m}^2$$

$$f = \frac{Hn}{[9 * cu * D]} \quad \text{Pers 1}$$

$$g = L - (f + 1.5 * D) \quad \text{Pers 2}$$

$$My = Hn * (e + 1.5 * D + 0.5 * f) \quad \text{Pers 3}$$

$$My = \frac{9}{4} * D * cu * g^2 \quad \text{Pers 4}$$

$$\text{Pers 1 } f = \frac{1}{[9 * 23 * 0.088]} * Hn \quad 0.0549 * Hn$$

$$\text{Pers 2 } g = 4.5 - (0.0549 Hn + 1.5 * 0.088) \quad 4.368 - 0.0549 Hn$$

$$g^2 = (-0.0549)^2 * Hn^2 - 2 * 4.368 * -0.0549 * Hn + 4.368^2 \quad 19.079424$$

$$\frac{9}{4} * D * Cu = \frac{9}{4} * 0.088 * 23 = 4.554$$

$$\text{Pers 3 } My = Hn * (0.2 + 1.5 * 0.088 + 0.5 * 0.0549 * Hn) \quad Hn(0.332 + 0.02745 Hn)$$

$$My = 0.02745 * Hn^2 + 0.332 * Hn$$

$$\text{Pers 4 } My = 4.554 * 0.0031 * Hn^2 - 2.184 * Hn \quad 19.079424 x 4.554 = 88.887$$

$$\text{Pers. Kuadrat : } (0.0275 - 0.01372) * Hn^2 \quad 0.01372 x Hn^2$$

$$\text{Pers. Kuadrat } (0.332 - (-2.184)) * Hn = 2.516 x Hn$$

$$\text{Pers. Kuadrat : } (0 - 88.887) \quad -88.887$$

Dari persamaan kuadrat, diperoleh tahanan lateral nominal,

$$\begin{aligned} Hn &= (-88.887 \\ &+ \sqrt{2.516^2 - 4 * 0.01372 * -88.887}) / (2 * 0.01372) \end{aligned}$$

$$Hn = 28.717 \text{ kN}$$

$$f = 0.0549 * 29.717$$

$$f = 1.631 \text{ m}$$

$$M_{\max} = Hn * (e + 1.5 * D + 0.5 * 1.631)$$

$$M_{\max} = 29.716 * (0.2 + 1.5 * 0.088 + 0.5 * 1.631)$$

$$M_{\max} = 34.016 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} > My \rightarrow \text{Tiang Pancang (Aman)}$$

$$34.0156 > 7.49 \rightarrow \text{Tiang Pancang (Aman)}$$

Dari persamaan 3,

$$My = Hn(0.332 + 0.02745 Hn)$$

$$7.493 = 0.332 Hn + 0.02745 Hn^2$$

$$0 = 0.332 Hn + 0.02745 Hn^2 - 7.493$$

Dari persamaan kuadrat, diperoleh tahanan lateral nominal,

$$Hn = \frac{(-7.493 + \sqrt{0.332^2 - 4 * 0.02745 * -7.493})}{(2 * 0.02745)}$$

$$Hn = 11.547 \text{ kN}$$

Faktor reduksi kekuatan,

$$f = 0.9$$

Tahanan lateral tiang pancang,

$$\rightarrow f * Hn = 11.547 * 0.9 \rightarrow 10.392 \text{ kN}$$

Rekap tahanan lateral tiang

$$\text{Uraian Tahanan Lateral Tiang Pancang : } f * Hn$$

$$\text{Berdasarkan defleksi tiang maksimum : } 16.732 \text{ kN}$$

$$\text{Berdasarkan momen maksimum : } 10.392 \text{ kN}$$

Tahanan lateral tiang terkecil,

$$f * Hn = 10.392 \text{ kN}$$

Diambil tahanan lateral tiang pancang,

$$f * Hn = 10 \text{ kN}$$

Untuk 1 tiap pancang ukuran 4.5 tersebut mempunyai kekuatan yaitu 10 kN

Jika ada jumlah tiang tersebut 110 maka

$$11 * 10 = 110 \text{ kN}$$

Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas lateral tiang masih mampu menahan beban yang bekerja. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem turap portabel memiliki dukungan struktur yang memadai terhadap tekanan tanah lateral.

3.10. Cek *Sliding*

$$SF = \frac{P_p}{P_a}$$

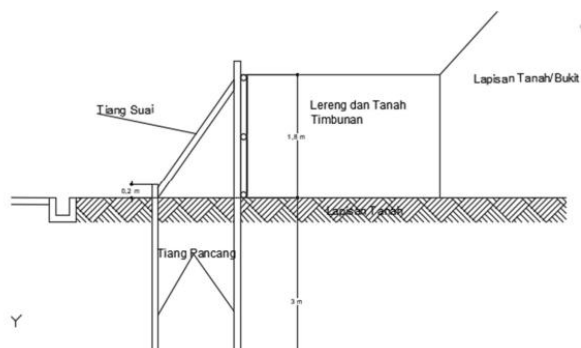
Yang dimana Tanah Aktif dari hasil perhitungan momen pada turap dengan hasil $M_{Aktif} = 53,11525$ kN. Setelah itu dengan perhitungan kekuatan pada tiang pancang tersebut, kita asumsikan sebagai kekuatan tekanan pasif nya yaitu dengan hasil

$$M_{Aktif} = 110 \text{ kN}$$

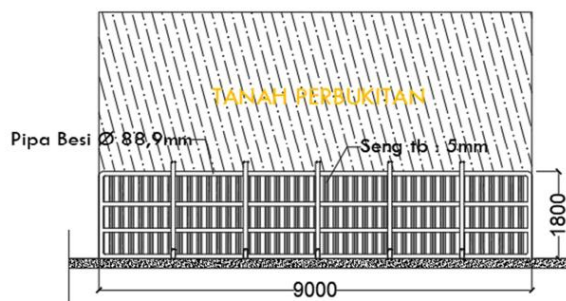
$$\text{Jadi, } SF = \frac{110}{53.115}$$

$$SF = 2.075 \text{ (Aman)}$$

Faktor keamanan minimal berkisar antara 1.2 – 1.5 Nilai faktor keamanan sebesar 2.075 berada di atas batas minimum yang umum digunakan dalam perencanaan geoteknik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem turap portabel mampu memberikan stabilitas yang memadai terhadap potensi pergeseran pada lokasi penelitian. Desain DPT Turap dapat dilihat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.



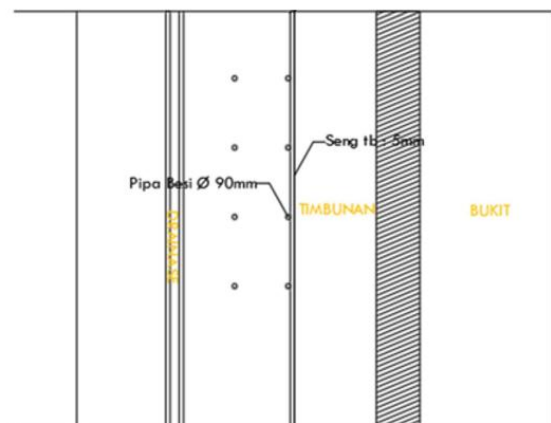
Gambar 3. Gambar desain DPT tampak samping



TAMPAK DEPAN

Gambar 4. Gambar desain DPT tampak depan

JALAN PERBUKITAN



Gambar 5. Gambar desain DPT tampak atas



TAMPAK ATAS

Gambar 6. Gambar desain DPT tampak depan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, perencanaan dinding penahan tanah tipe turap portabel menggunakan seng dan pipa baja tubing pada area tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field menunjukkan bahwa sistem mampu menahan tekanan tanah lateral dengan baik. Nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) sebesar 0.405 menghasilkan distribusi tekanan yang meningkat terhadap kedalaman dan memberikan momen total sebesar 53.115 ton·m sebagai beban utama yang harus ditahan oleh struktur.

Analisis kapasitas lateral tiang menggunakan metode Broms menunjukkan bahwa tiang termasuk kategori tiang panjang (*long pile*), sehingga mekanisme kegagalan yang dominan berupa momen lentur. Kapasitas lateral yang dihasilkan mampu menahan beban yang bekerja tanpa menunjukkan indikasi kegagalan, baik dari segi defleksi maupun stabilitas terhadap pergeseran (*sliding*). Hal ini

menunjukkan bahwa sistem turap portabel yang digunakan telah memenuhi kriteria keamanan struktur.

Secara keseluruhan, penggunaan turap portabel dapat menjadi solusi yang efektif dan praktis untuk perkuatan lereng sementara, terutama pada kondisi tanah lempung di area operasional migas. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode numerik yang lebih detail serta mempertimbangkan pengaruh beban dinamis, kondisi air tanah, dan kinerja jangka panjang guna meningkatkan akurasi dan keandalan desain.

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem turap portabel berbahan seng dan pipa baja tubing memiliki stabilitas yang memadai untuk digunakan sebagai perkuatan lereng sementara pada area tangki H13 PT Pertamina EP Sangasanga Field. Kontribusi penelitian ini terletak pada kajian penerapan turap portabel menggunakan pendekatan teori Rankine dan metode Broms pada kondisi tanah lempung yang masih terbatas dibahas dalam penelitian sebelumnya. Kombinasi kedua metode tersebut mampu mengevaluasi tekanan tanah lateral dan kapasitas lateral tiang secara sistematis. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pemilihan metode perkuatan lereng yang cepat, fleksibel, dan ekonomis pada area operasional dengan kondisi serupa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Tanah Laut, khususnya Jurusan Rekayasa Industri dan Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, atas dukungan akademik dan fasilitas yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexei, A. (2022). Implementing Design Science Research Method to Develop a Cyber Security Framework for HEIs in Moldova. *Proceedings of the 11th International Conference on "Electronics, Communications and Computing (IC|ECCO-2021)." https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2021/nwc.02*
- Basha, B., & Babu, G. (2008). Target reliability based design optimization of anchored cantilever sheet pile walls. *Canadian Geotechnical Journal*, 45, 535–548. <https://doi.org/10.1139/t08-004>
- Bouali, M., Karkush, M., & Bouassida, M. (2021). Impact of wall movements on the location of passive Earth thrust. *Open Geosciences*, 13, 570–581. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0248>
- Broms, B. B. (1964). Lateral resistance of piles in cohesive soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 90(2), 27–63.
- Budhu, M. (2011). Earth fissure formation from the mechanics of groundwater pumping. *International Journal of Geomechanics*, 11(1), 1–11.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Geotechnical engineering*. Dermawan, A., Syaiful, S., Alimuddin, A., & Fachruddin, F. (2022). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Desa Mekarjaya, Kecamatan Ciomas, Kabupaten Bogor). *Rona Teknik Pertanian*. <https://doi.org/10.17969/rtp.v15i2.27778>
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- Fathipour, H., Payan, M., & Chenari, R. J. (2021). Limit analysis of lateral earth pressure on geosynthetic-reinforced retaining structures using finite element and second-order cone programming. *Computers and Geotechnics*. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104119>
- Flanclin, N. N. B. V., Victor, K. J., Lucas, K., & De Tambou, T. B. Ii. H. (2024). Predicting soil parameters in Maroua 1st, Cameroon, using correlations of geophysical and geotechnical data. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29589>
- Ghosh, R. (2013). *Effect of soil moisture in the analysis of undrained shear strength of compacted clayey soil*. 4. <https://consensus.app/papers/effect-of-soil-moisture-in-the-analysis-of-undrained-shear-ghosh/e0fafedebc3e5866b8cff5e7536049a1/>
- Hazzar, L., Karray, M., Bouassida, M., & Hussien, M. (2013). Ultimate Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soil. *DFI Journal - The Journal of the Deep Foundations Institute*, 7, 59–68. <https://doi.org/10.1179/dfi.2013.005>
- He, H., Dong, X., Du, S., Guo, H., Yan, Y., & Chen, G. (2024). Study on the Stability of Cut Slopes Caused by Rural Housing Construction in Red Bed Areas: A Case Study of Wanyuan City, China. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16031344>
- Komadja, G., Pradhan, S. P., Oluwasegun, A. D., Roul, A., Stanislas, T., Laïbi, R., Adebayo, B., & Onwualu, A. (2021). Geotechnical and geological investigation of slope stability of a section of road cut debris-slopes along NH-7, Uttarakhand, India. *Results in Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100227>
- Kurniawan, Y. (2024). Estimation of Standard Penetration Test (SPT) Depth Testing Plan on Geoelectrical Resistivity Data Correlation (Ωm). *INFOMANPRO*. <https://doi.org/10.36040/infomanpro.v13i1.6472>
- Liu, H., & Kong, D. (2022). Active Earth Pressure of Finite Width Soil Considering Intermediate Principal Stress and Soil Arching Effects. *International Journal of Geomechanics*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0002298](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0002298)
- Madhuri, S., & Rao, P. (2022). Stability analysis of Contiguous pile. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 982. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012046>
- Poorjafar, A., Esmacili-Falak, M., & Katebi, H. (2021). Pile-soil interaction determined by laterally loaded fixed head pile group. *Geomechanics and Engineering*, 26, 13. <https://doi.org/10.12989/gae.2021.26.1.013>
- Simanjuntak, R., Roesyanto, R., & Harahapan, S. E. (2024). Analisis Daya Dukung Lateral Bored Pile Ø 80 Cm dengan Menggunakan Uji Beban Lateral dan Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Proyek Menara BRI - Medan. *Jurnal Syntax Admiration*. <https://doi.org/10.46799/jsa.v5i8.1398>
- Stirling, R., Toll, D., Glendinning, S., Helm, P., Yildiz, A., Hughes, P., & Asquith, J. (2020). Weather-driven deterioration processes affecting the performance of embankment slopes. *Géotechnique*. <https://doi.org/10.1680/jgeot.19.sip.038>

- Tandian, J. S., & Saputro, S. (2024). Planning Analysis Of Sheet Pile Wharf With Plaxis Software At Special Terminal Lampung. *International Journal on Livable Space*. <https://doi.org/10.25105/livas.v8i1.19470>
- Tobar, T., & Meguid, M. (2010). Comparative evaluation of methods to determine the earth pressure distribution on cylindrical shafts: A review. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2009.11.001>
- Zotsenko, M., Vynnykov, Y., Kharchenko, M., & Lartseva, I. (2018). Reliability Control Of Exploitation Of Oil Storage Tanks Bases In Complex Geotechnical Conditions At Seismic Effects. *Problems and Prospects of Oil and Gas Industry*. <https://doi.org/10.32822/naftogazscience.2018.02.065>