

## **Analisis Keseimbangan Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga Dengan Tubular Pile Dan Steel Combined Wall**

**Nurul Wahidah Siregar**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan  
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

wahidahuul123@gmail.com

### **Abstrak**

Area fase 1 merupakan lokasi yang jenis tanahnya relatif lunak. Maka dalam perencanaannya hanya mengandalkan daya dukung friction (selimut tiang) saja. Salah satu konstruksi penahan tanah adalah sheet pile atau biasa disebut dengan turap. Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berbentuk pipih dan panjang, biasanya terbuat dari material baja atau beton yang berfungsi untuk menahan tanah, penahan tebing galian, reklamasi tanah, perlindungan tepi sungai, bendungan serta juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian. Digunakan tipe combined wall merupakan gabungan dari Tubular Pile / Steel Pipe Pile (SPP) dan Hat type sheet pile, dipasang sepanjang perbatasan fase 1 dan terminal petikemas Belawan (TPK Belawan) dan searah dengan arah ombak air laut dengan panjang  $\pm 28$  m. Memiliki peran untuk meminimalisir keruntuhan tanah dan combined wall di desain dengan pendekatan terhadap kontur dasar laut untuk menahan limpasan air sehingga tidak terjadi sedimentasi yang tinggi. Gaya yang bekerja pada combined wall hanya gaya tekanan tanah lateral. Dalam penelitian ini, akan menganalisis stabilitas combined wall dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan limit equilibrium (LEM). Pemodelkan 3 tipe combined wall dengan desain hat type sheet pile yang berbeda untuk mengetahui nilai deformasi dan angka kemanan ketiga pemodelan pada yang digunakan tersebut. Dengan metode elemen hingga mendapatkan hasil deformasi sebesar 11.99 cm, 12.24 cm, 5.93 cm dan nilai angka keamanan sebesar 2.481, 2.480, dan 2.462. Sedangkan metode limit equilibrium didapatkan nilai deformasi sebesar 2.42 cm, .54 cm, dan 6.56 cm, serta nilai angka keamanan sebesar 2.6, 2.34 dan 2. Deformasi dan safety factor dipengaruhi oleh nilai kekakuan normal dan momen inersia.

**Kata Kunci:** Deformasi, Elemen Hingga, Angka Keamanan.

## 1. PENDAHULUAN

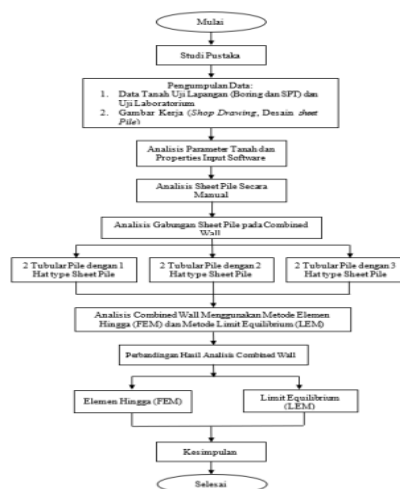
Pada tahun 2017, Reklamasi dilakukan oleh Kementerian Perhubungan untuk memperluas kawasan Belawan Internasional Container Terminal (BICT) yang ada sekarang. Area reklamasi dibagi menjadi fase 1 dan fase 2, yang pertama dilakukan adalah pembangunan terminal petikemas fase 2 yang dilengkapi dengan dermaga, container crane, kantor dll. Area fase 1 merupakan lokasi yang jenis tanahnya relatif lunak. Lapisan tanah lanau, pasir dan lempung lunak hingga sangat lunak terdapat di area ini. Untuk kondisi yang seperti ini akan sulit didapatkan lapisan tanah keras. Maka dalam perencanaannya hanya mengandalkan daya dukung friction (selimut tiang) saja. Sebagai terminal yang akan memikul beban yang besar, maka dari itu diperlukan sebuah struktur yang berfungsi proteksi terhadap tanah agar tidak terjadi keruntuhan. Dinding penahan tanah adalah struktur yang didesain untuk menjaga dan mempertahankan dua muka elevasi tanah yang berbeda. Salah satu konstruksi penahan tanah adalah sheet pile atau biasa disebut dengan turap.

Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berbentuk pipih dan panjang, biasanya terbuat dari material baja atau beton yang berfungsi untuk menahan tanah, penahan tebing galian, reklamasi tanah, perlindungan tepi sungai, bendungan serta juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian (Das, 2007). Untuk material dari turap terbagi atas tiga yaitu kayu, beton dan baja. Turap baja sangat umum digunakan untuk bangunan permanen maupun sementara. Karena lebih menguntungkan dan mudah penanganannya. Di antaranya kuat menahan gaya-gaya benturan saat pemancangan, memiliki keawetan yang tinggi serta dapat disambung bila kedalaman yang dibutuhkan besar.

Dalam pemasangan turap baja harus memperhatikan beberapa aspek di antaranya stabilitas tanah serta faktor keamanan dari turap baja tersebut agar tidak terjadi keruntuhan tanah akibat gerakan tanah aktif dan gaya-gaya yang mempengaruhi lainnya. Turap dapat dikatakan aman, setelah diperhitungkan faktor keamanannya, baik terhadap bahaya pergeseran dan perpindahan totalnya.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dimulai dengan berbagai tahapan untuk mencapai tujuan yang diharapkan seperti pada gambar 1.

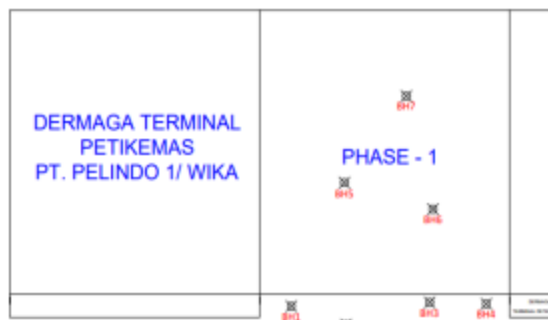


Gambar 1. Alur Penelitian

### Stratifikasi Tanah

Stratifikasi tanah adalah penggambaran jenis lapisan tanah berdasarkan hasil pengujian tanah dari tes Bore Log yang dengan Standard Penetration Test (SPT). Pengambilan contoh tanah dari lubang bor ada 2 (dua) jenis yang dapat diambil yaitu : Contoh tanah tidak terganggu (Undisturbed Sample). Dan Contoh tanah terganggu (Disturbed Sample). Metode Pelaksanaan bor mesin memakai standard ASTM D 420; D – 2487; D – 653; D – 1586; D – 1587; D – 2487. Adapun titik pekerjaan bor mesin sebagai berikut :

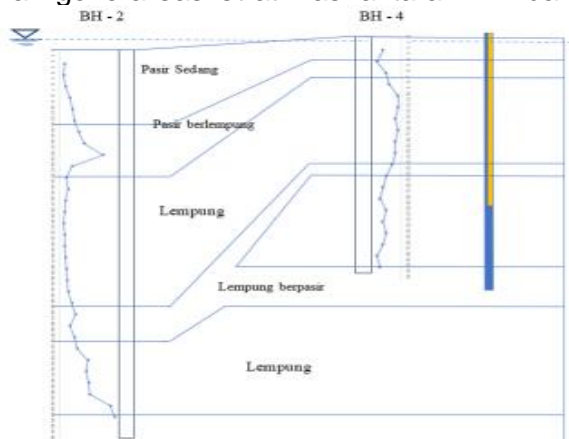
1. Pekerjaan Bor Mesin Di Laut kedalaman maximum 64.00 m sebanyak 4 (empat) titik.
2. Pekerjaan Bor Mesin Di Darat kedalaman maximum 62.00 m sebanyak 3 (tiga) titik.



Gambar 2 Rencana Titik Test Bor Mesin

Combined wall dipasang dengan arah menjorok ke laut sepanjang 28 m. Maka titik yang akan ditinjau yaitu borehole di laut yaitu BH-1, BH-2, BH-3, BH-4. Dari hasil pengeboran dan SPT test pada BH-1, BH-3, dan BH-4 tanah keras tidak ditemukan sampai dengan kedalaman  $\pm 40.50$  m dari permukaan tanah sedangkan pada BH-2 ditemukan tanah keras pada kedalaman tanah dengan total  $\pm 62.00$  s/d 64.00 m dari permukaan tanah dengan total 60 x pukulan.

Posisi combined wall berjarak  $\pm 15$  m dari titik BH-4. Dapat diasumsikan bahwa lapisan tanah pada daerah kajian sama dengan BH-4. Namun dari hasil identifikasi lapisan tanah melalui pengeboran dan SPT test, BH-4 hanya sampai di kedalaman  $\pm 40.50$ . Sedangkan SPP (Steel Pipe Pile) yang akan di pancang sepanjang 45 m. Maka harus dilakukan generalisasi stratifikasi antara BH-4 dan BH-2.



Gambar 3 Stratifikasi Tanah Berdasarka Titik Bor

Berdasarkan stratifikasi diatas dapat diketahui bahwa jenis lapisan tanah pada BH-2 dan BH-4 hampir sama, akan tetapi kedalaman lapisan tanah dan kepadatannya berbeda. Generalisasi stratifikasi tanah merupakan penyelidikan tanah yang berupaya untuk mengetahui bentuk, jenis, ketebalan dan kedalaman lapisan tanah yang berada di bawah permukaan ditinjau dari beberapa hasil pengujian lapangan. Maka dari itu didapatkan lapisan tanah yang mewakili daerah kajian yaitu pada combined wall.

### Parameter Input Software

Untuk analisa stabilitas dengan menggunakan software finite element diperlukan parameter tanah yang didapat dari data-data tanah hasil penyelidikan yang diperoleh secara langsung dari laboratorium. Data tanah yang diperlukan sebagai parameter tanah dalam program software dengan model material Mohr-Coloumb. Untuk Parameter tanah yang digunakan sebagai input software finite element dirangkum dalam Tabel sebagai berikut:

**Tabel 1 Tabel Data Input Software**

	0.00 - 4.00	4.00 - 7.00	7.00 - 22.00	22.00 - 24.00	24.00 - 40.00	40.00 - 45.00	45.00 - 64.00
$\gamma_{sat}$	14.73	11.15	11.57	13.05	14.38	15.89	17.19
$\gamma_{sat}$	16.98	14.10	15.66	15.41	16.23	17.77	19.05
void ratio, e	1.30	2.11	1.33	1.62	1.29	0.97	0.71
Modulus Young, E'	14400	4200	9101.00	8622.00	11017	15807	36883
Poisson Ratio, $\nu'$	0.20	0.30	0.40	0.30	0.40	0.30	0.40
Shear Modulus, G	8640.00	2730.00	6370.70	5604.30	7711.90	10274.55	25818.10
Edometer, $E_{oed}$	16000.00	5653.85	19502.14	11606.54	23607.86	21278.65	79035.00
cohesion, c	11.27	16.96	17.15	24.70	30.87	34.40	44.30
Internal Friction, $\phi$ (°)	14.45	9.61	10.40	13.30	15.19	20.50	27.44
Dilatancy angle, $\psi$	0	0	0	0	0	0	0

### 3. HASIL

#### Analisis Combined Wall Dengan Metode Elemen Hingga (FEM)

Dalam analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan bantuan software menghasilkan nilai dari beberapa parameter hasil analisis yang diantaranya tegangan efektif, deformasi, gaya normal (axial forces), momen lentur (bending moment), gaya geser (shear forces), dan safety factor. Analisis ini telah mendapatkan hasil dari ketiga pemodelan yang dilakukan. Parameter hasil analisis tersebut akan dihubungkan dengan tipe combined wall agar dapat diambil kesimpulan dari metode elemen hingga (FEM) ini. Deformasi yang telah dihitung menggunakan software yang telah mendapatkan hasil dari tiga pemodelan tersebut. Hal ini dapat kita lihat seperti pada tabel 2

**Tabel 2 Tabel hasil analisis combined wall terhadap deformasi**

Tipe Combined Wall	Deformasi	SNI 8640 : 2017 Perencanaan Geoteknik	Keterangan
1 Hat type sheet pile	11.99	Defleksi yang diizinkan maksimal sebesar $\bar{\delta}_h = 0.005 H$ $\bar{\delta}_h = 0.005 (14)$ $\bar{\delta} = 0.07 \text{ m} \approx 7 \text{ cm}$	Tidak Aman
2 Hat type sheet pile	12.24		Tidak Aman
3 Hat type sheet pile	5.934		Aman

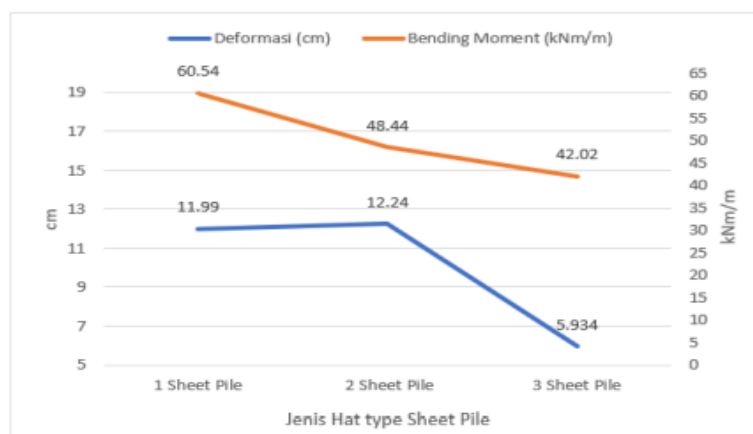
Dari hasil analisis yang terangkum dalam tabel 2 menunjukkan bahwa combined wall dengan 3 hat type sheet pile memenuhi syarat defleksi izin sesuai SNI 8640 : 2017 tentang Perencanaan Geoteknik. Dengan nilai  $5.934 \text{ cm} > \delta h = 7 \text{ cm}$ . Analisis ini menerangkan bahwa tipe combined wall dengan 3 hat type sheet pile yang aman dipasang dalam proyek pemasangan sheet pile fase 1 Belawan.

Selain dari pada deformasi yang terjadi, safety factor merupakan salah satu hal yang penting diketahui. Untuk mengetahui tipe combined wall yang aman secara stabilitas global. Hal tersebut dapat terlihat pada tabel 3.

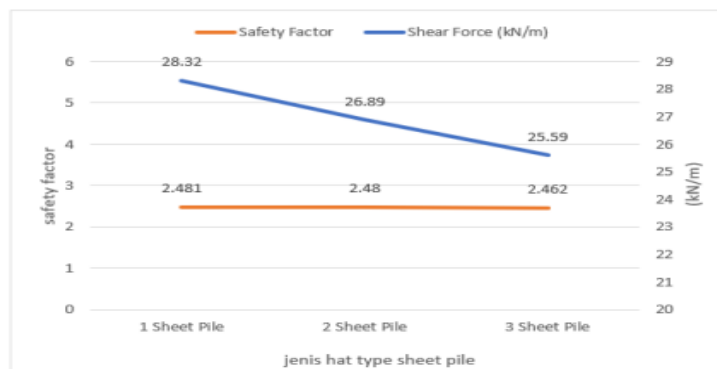
**Tabel 3** Tabel hasil analisis combined wall terhadap safety factor

Tipe Combined Wall	Safety Factor	SNI 8640 : 2017 Perencanaan Geoteknik	Keterangan
1 Hat type sheet pile	2.481	Angka Safety Factor Stabilitas Global pada sheet pile $\geq 1.5$ (permanen)	Aman
2 Hat type sheet pile	2.480		Aman
3 Hat type sheet pile	2.462		Aman

Berdasarkan hasil analisis tabel 3, dapat kita ketahui bahwa ketiga tipe combined wall aman secara stabilitas global. Sesuai dengan SNI 8640 : 2017 tentang Perencanaan Geoteknik, angka safety factor pada bangunan permanen  $> 1.5$ . Maka dari itu untuk ketiga tipe combined wall tersebut aman secara stabilitas global. Setelah mengetahui faktor keamanan dari ketiga tipe combined wall tersebut, selanjutnya adalah hubungan combined wall terhadap parameter-parameter hasil analisis akan di representasikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4 dan 5.



**Gambar 4** Grafik hubungan tipe combined wall dengan deformasi dan bending moment



Gambar 5 Grafik hubungan combined wall dengan shear forces dan safety factor

### Analisis Combined Wall Dengan Metode Limit Equilibrium (LEM)

Dalam analisis menggunakan metode limit equilibrium (LEM) dengan bantuan software menghasilkan nilai dari beberapa parameter hasil analisis yang diantaranya tekanan tanah total, tekanan tanah pada saat diam, tekanan tanah aktif, tekanan tanah pasif, displacement of structure, bending moment, shear forces, dan penurunan tanah belakang struktur. Analisis ini telah mendapatkan hasil dari ketiga pemodelan yang dilakukan. Parameter hasil analisis tersebut akan dihubungkan dengan tipe combined wall agar dapat diambil kesimpulan dari metode limit equilibrium (LEM). Deformasi yang telah dihitung menggunakan software yang telah mendapatkan hasil dari tiga pemodelan tersebut. Hal ini dapat kita lihat seperti pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Analisis Combined Wall terhadap Deformasi

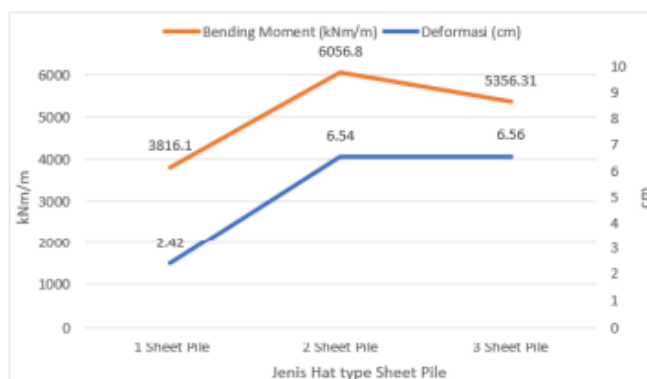
Tipe Combined Wall	Deformasi	SNI 8640 : 2017 Perencanaan Geoteknik	Keterangan
1 Hat type sheet pile	2.42	Defleksi yang diizinkan maksimal sebesar $\delta_h = 0.005 H$ $\delta_h = 0.005 (14)$ $\delta = 0.07 \text{ m} \approx 7 \text{ cm}$	Aman
2 Hat type sheet pile	6.54		Aman
3 Hat type sheet pile	6.56		Aman

Dari hasil analisis yang terangkum dalam tabel 4, menunjukkan bahwa ketiga tipe combined wall memenuhi syarat defleksi izin sesuai SNI 8640 : 2017 tentang Perencanaan Geoteknik. Dengan nilai  $> \delta_h = 7 \text{ cm}$ . Selain dari pada deformasi yang terjadi, safety factor merupakan salah satu hal yang penting diketahui. Untuk mengetahui tipe combined wall yang aman secara stabilitas global. Hal tersebut dapat terlihat pada tabel 5.

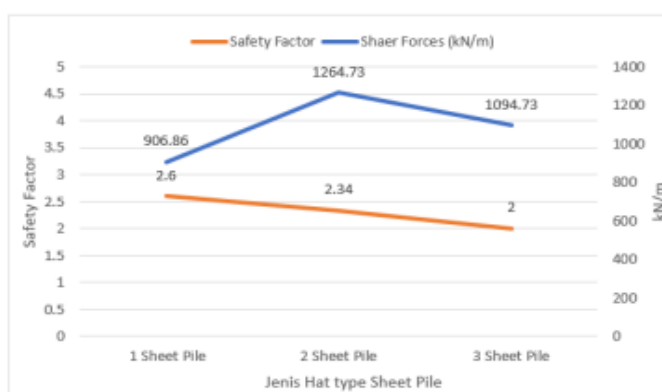
Tabel 5 Hasil Analisis Combined Wall terhadap Safety Factor

Tipe Combined Wall	Safety Factor	SNI 8640 : 2017 Perencanaan Geoteknik	Keterangan
1 Hat type sheet pile	2.6	Angka Safety Factor Stabilitas Global pada sheet pile $\geq 1.5$ (permanen)	Aman
2 Hat type sheet pile	2.34		Aman
3 Hat type sheet pile	2		Aman

Berdasarkan hasil analisis tabel 5, dapat kita ketahui bahwa ketiga tipe combined wall aman secara stabilitas global. Sesuai dengan SNI 8640 : 2017 tentang Perencanaan Geoteknik, angka safety factor pada bangunan permanen > 1.5. Maka dari itu untuk ketiga tipe combined wall tersebut aman secara stabilitas global. Setelah mengetahui faktor keamanan dari ketiga tipe combined wall tersebut, selanjutnya adalah hubungan combined wall terhadap parameter-parameter hasil analisis akan di representasikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6 Grafik Hubungan Combined Wall dengan Bending Moment dan Deformasi

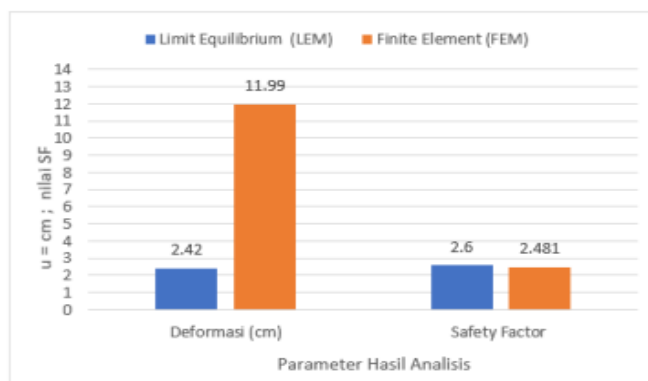


Gambar 7 Grafik Hubungan Tipe Combined Wall dengan Shear Force dan Safety Factor

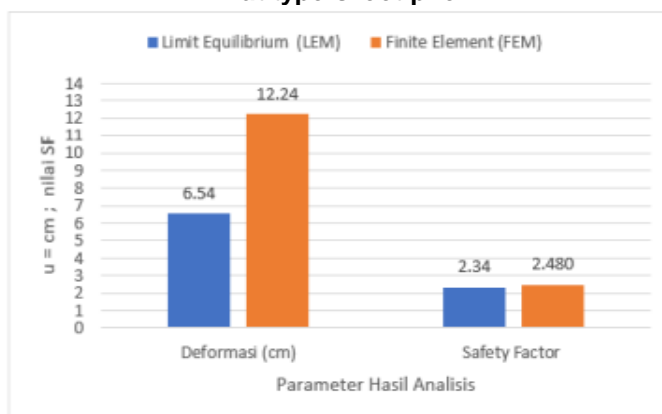
#### 4. PEMBAHASAN

##### Perbandingan Analisis Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) dan Limit Equilibrium (LEM)

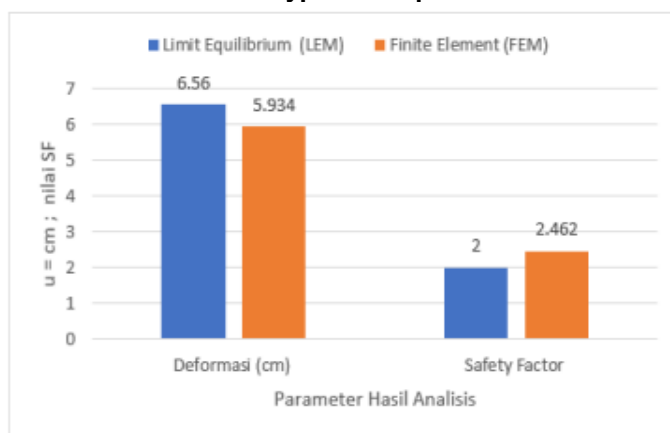
Perbandingan analisis metode elemen hingga (FEM) dan limit equilibrium (LEM) ini meninjau nilai deformasi dan safety factor terhadap 3 tipe combined wall yang di teliti. Nilai tersebut didapatkan dari perhitungan menggunakan metode masing-masing dengan bantuan software. Kemudian di rangkum dalam bentuk diagram agar terlihat perbedaan dan dapat disimpulkan perbandingannya.



Gambar 8 Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile



Gambar 9 Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile



Gambar 10 Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Stabilitas tanah dapat dilihat dari nilai deformasi yang terjadi, berdasarkan Final Report Proyek bernilai 6.507 cm. Hal ini sesuai ketentuan SNI 8640 : 2017 tentang perencanaan geoteknik yaitu  $\delta = 7$  cm. Kondisi ini ditinjau

terhadap combined wall dengan 3 hat type sheet pile dalam metode FEM sebesar 5.934 cm dan metode LEM sebesar 6.56 cm. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa jika nilai kekakuan (EA) besar maka deformasi yang terjadi akan bernilai kecil. Dan tipe combined wall dengan 3 hat type sheet pile aman digunakan untuk proyek pemasangan sheet pile fase 1 Belawan.

- b. Analisis Sheet Pile secara manual mendapatkan nilai safety factor secara terpisah antara tubular pile dan hat type sheet pile. Di dapatkan nilai safety factor sebesar sebesar:

Tubular Pile : 2.365

Hat type sheet pile : 1.489

Dengan kekakuan yang besar menghasilkan safety factor yang kecil. Hal ini dapat menjadikan perbedaan pekerjaan di lapangan dan desain tidak terlalu jauh namun tetap aman. Adapun nilai safety factor adalah sebagai berikut:

1 Hat type sheet pile = 2.481

2 Hat type sheet pile = 2.480

3 Hat type sheet pile = 2.462

- c. Perbandingan anatara metode elemen hingga (FEM) dan limit equilibrium (LEM) mendapatkan hasil yang mendekati terhadap parameter hasil deformasi dan safety factor. Untuk Analisis Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile, menggunakan FEM memiliki deformasi sebesar 5.934 cm dan safety factor sebesar 2.462. Sedangkan menggunakan LEM yang deformasi sebesar 6.56 cm serta safety factor sebesar 2.00. Namun untuk bending moment dan shear force terdapat perbedaan yang jauh, banyak faktor yang mempengaruhi hal tersebut. Diantaranya parameter input software pada masing-masing software serta metode perhitungan yang dipakai dalam software tersebut.

## REFERENSI

- Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo BI 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6. 0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 62-69.
- Adiyanto, M. I., Faisal, A., & Majid, T. A. (2011). Nonlinear behaviour of reinforced concrete building under repeated earthquake excitation. In *International Conference on Computer and Software Modeling, IPCSIT* (Vol. 14).
- Ali, N., Sobri, M. H. A. M., Hadipramana, J., Samad, A. A. A., & Mohamad, N. (2017). Potential Mixture of POFA and SCBA as Cement Replacement in Concrete—A Review. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 103, p. 01006). EDP Sciences.
- Anbya, Y. Y. N. (2015). STUDI PERENCANAAN DESAIN TURAP BAJA DENGAN METODE FINITE ELEMENT DI BANTARAN SUNGAI JELARAI TANJUNG SELOR Yasinta. 11(2), 36–45.
- Efrida, R., Putra, T. A., & Utami, C. (2019). Pembangunan Irigasi Air Tanah Dangkal Untuk Peningkatan Produktivitas Usaha Tani Desa Sambirejo Kabupaten Langkat. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 1(2), 196-202.
- Efrida, R., & Utami, C. (2019). EVALUASI KINERJA DINDING PENGISI BATA MERAH DENGAN OPENINGS PADA STRUKTUR BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN GEMPA KUAT. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 24-29.
- Faisal, A. (2007). Estimasi Respon Tanah Sedang di Beberapa Lokasi di Kota Medan Akibat Skenario Terburuk Gempa Sumatera. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 14(1), 15-26.
- Faisal, A., & Sari, S. M. (2007). Perkiraan kehancuran bangunan rumah toko di Kota Medan akibat skenario terburuk gempa subduksi Nias. *Jurnal Teknologi, Universitas Indonesia*, (2), 85-93.

- Faisal, A. (2019). Influence of repeated earthquakes on the ductility demand of inelastic RC buildings. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*.
- Faisal, A., Majid, T. A., & Hatzigeorgiou, G. D. (2013). Investigation of story ductility demands of inelastic concrete frames subjected to repeated earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 44, 42-53.
- Farid Fahlevi. (2019). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Plaxis V.8 Dan Metode Bishop (Studi Kasus: Pembangunan TPA Sipirok). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Fauzi, A. N. (2012). Analisis TeganganPerpindahan dan Faktor Keamanan (SF) Pada Lereng Miring Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Plaxis 8.2.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Hadipramana, J., & Syahputra, J. (2021). PERBANDINGAN SIMULASI GAYA AKSIAL DAN LATERAL PLAIN WALL BETON RINGAN ANTARA CAMPURAN STYROFOAM DENGAN LAPISAN COATING DAN ABU SEKAM PADI DENGAN FLY ASH. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Hadipramana, J., Riza, F. V., Rahman, I. A., Loon, L. Y., Adnan, S. H., & Zaidi, A. M. A. (2016, November). Pozzolanic characterization of waste Rice husk ash (RHA) from Muar, Malaysia. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 160, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
- Hadipramana, J., Samad, A. A. A., Ahmad Mujahid, A. Z., Mohammad, N., & Riza, F. V. (2013). Effect of uncontrolled burning rice husk ash in foamed concrete. In *Advanced Materials Research* (Vol. 626, pp. 769-775). Trans Tech Publications Ltd.
- Hamdhan, I. N., & Pratiwi, D. S. (2017). Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM). *Jurnal Rekayasa Hijau*, 1(2), 100–111. <https://doi.org/10.26760/jrh.v1i2.1631>
- Hardiyatmo, H. C. (1996). Teknik Pondasi 1 Edisi Kedua (P. Lubis (ed.); Kedua). PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2002a). Mekanika Tanah 1 (Ketiga). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2002b). Teknik Pondasi 2 Edisi Keempat (Keempat). PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Husen, H., Majid, T. A., Nazri, F. M., Arshad, M. R., & Faisal, A. (2008, June). Development of design response spectra based on various attenuation relationships at specific location. In *International Conference on Construction and Building Technology (ICCBT08)* (Vol. 138).
- Jamaludin, S. B., Hadipramana, J., Wahid, M. F. M., Hussin, K., & Rahmat, A. (2013). Microstructure and interface analysis of glass particulate reinforced aluminum matrix composite. In *Advanced Materials Research* (Vol. 795, pp. 578-581). Trans Tech Publications Ltd.
- Mohamad, N., Samad, A. A. A., Ali, N., Hadipramana, J., & Jamaluddin, N. (2015). Performance of connected precast lightweight sandwich foamed concrete panel under flexural load. *Jurnal Teknologi*, 75(9).
- NAZRI, F. B. M. (2007). Development of design response spectra for Penang Island.
- Nurzanah, W. (2021). SUMUR RESAPAN UNTUK PEMANENAN AIRHUJAN DI KECAMATAN MEDAN BELAWAN. *Ai Ulum*, 9(1), 1-7.
- Pane, Y., & Suhelmi, S. (2019). PEMANFAATAN SEDIMEN TANAH SUNGAI BAHOROK AKIBAT DARI PERLUASAN VOLUME DI KAWASAN BUKIT LAWANG. *Ready Star*, 2(1), 423-428.
- Pane, Y., Zega, O., Zalukhu, H. P., & Buulolo, C. W. BANGUNAN HEMAT BIAYA DENGAN KREASI BATU BATA BERWARNA. *Educational Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 5(1JUNI), 22-25.

- Pane, Y., & Anwar, S. (2019, January). Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Dengan Menggunakan Digital Elevation Model (Dem). In *Prosiding Seminar Nasional Era Industri (SNEI) 4.0* (Vol. 1, No. 1, pp. 18-24).
- Pramana, J. H., Samad, A. A., Zaidi, A. M. A., & Riza, F. V. (2010). Preliminary study on lightweight concrete under ballistic loading. *European Journal of Scientific Research*, 44(2), 285-299.
- Roslan, H. A., Adiyanto, M. I., Harith, N. S. H., Faisal, A., & Razak, S. M. S. A. (2021, February). Impact of seismic design on cost of structural materials for two storey hostel building in Sabah. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 682, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
- Tahara, R. M. K., Majid, T. A., Zaini, S. S., & Faisal, A. (2017, October). Effect of repeated earthquake on inelastic moment resisting concrete frame. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1892, No. 1, p. 020019). AIP Publishing LLC.
- Wulandari, N. S. (2017). ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN METODE KESETIMBANGAN BATAS ( LIMIT EQUILIBRIUM ) DAN ELEMEN HINGGA ( FINITE ELEMENT ) ANALYSIS OF SLOPE STABILITY PENDAHULUAN Permukaan tanah yang tidak selalu membentuk bidang datar atau mempunyai perbedaan elevasi antar. *Jurnal Desain Konstruks*, 16(1), 55–66
- Zahid, M. Z. A. M., Majid, T. A., & Faisal, A. (2012). Effect of repeated near field earthquake to the high-rise Rc building. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(10), 129-138.
- Zulkarnain, F., & Dewi, I. D. (2020). PKM Pembuatan Saluran Drainase Dusun li Jln Inpres Desa Tanjung Gusta Untuk Mengatasi Banjir. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 1-5.