

TUGAS AKHIR

ANALISIS *STEEL COMBINED WALL* DENGAN *TUBULAR PILE* TERHADAP STABILITAS TANAH MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (Studi Kasus)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

NURUL WAHIDAH SIREGAR
1707210172



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**



LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nurul Wahidah Siregar
NPM : 1707210172
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis *Steel Combined Wall* dengan *Tubular Pile*
Terhadap Stabilitas Tanah Menggunakan Metode Elemen
Hingga (Studi Kasus Terminal Petikemas Fase 1 Belawan)

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 15 Oktober 2021

Dosen Pembimbing

Fadliansyah, ST., M.T

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nurul Wahidah Siregar

NPM : 1707210172

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis *Steel Combined Wall* dengan *Tubular Pile*
Terhadap Stabilitas Tanah Menggunakan Metode Elemen
Hingga (Studi Kasus Terminal Petikemas Fase 1 Belawan)

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Oktober 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



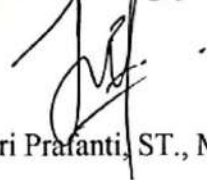
Fadliansyah, ST., M.T

Dosen Pembimbing I



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

Dosen Penguji II



Sri Prafanti, ST., M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Wahidah Siregar
Tempat/Tanggal Lahir : Padang Sidempuan / 9 Juni 1999
NPM : 1707210172
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Steel Combined Wall Dengan Tubular Pile Terhadap Stabilitas Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Terminal Petikemas Fase 1 Belawan)”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kerjasama saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Oktober 2021

Saya yang menyatakan,



Nurul Wahidah Siregar

ABSTRAK

ANALISIS *STEEL COMBINED WALL* DENGAN *TUBULAR PILE* TERHADAP STABILITAS TANAH MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nurul Wahidah Siregar

1707210172

Fadliansyah, ST., M.T

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 ± 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 keamanan 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.

ABSTRACT

ANALYSIS OF STEEL COMBINED WALL WITH TUBULAR PILE ON SOIL STABILITY USING FINITE ELEMENT METHOD

Nurul Wahidah Siregar
1707210172
Fadliansyah, ST., M.T

Phase 1 area is a location where the soil type is relatively soft. So in the planning only rely on the friction bearing capacity (pole blanket) only. One of the retaining constructions is sheet pile or commonly called sheet pile. A sheet pile wall is a relatively thin vertical wall that is flat and long, usually made of steel or concrete material that serves to hold soil, retain excavation cliffs, land reclamation, river bank protection, dams and also functions to prevent the entry of water into excavation holes. The combined wall type is a combination of Tubular Pile / Steel Pipe Pile (SPP) and Hat type sheet pile, installed along the boundary of phase 1 and the Belawan container terminal (TPK Belawan) and in the direction of the sea waves with a length of ± 28 m. Has a role to minimize soil collapse and the combined wall is designed with an approach to the contours of the seabed to withstand water runoff so that high sedimentation does not occur. The forces acting on the combined wall are only lateral earth pressure forces. In this study, we will analyze the stability of the combined wall using the finite element method (FEM) and limit equilibrium (LEM). Modeling 3 types of combined wall with different hat type sheet pile designs to determine the value of deformation and safety of the three models used. With the finite element method, the deformation results are 11.99 cm, 12.24 cm, 5.93 cm and the safety factor values are 2.481, 2.480, and 2.462. While the limit equilibrium method obtained deformation values of 2.42 cm, .54 cm, and 6.56 cm, and the safety factor value of 2.6; 2.34 ; and 2. Deformation and safety factor are influenced by the value of normal stiffness (EA) and moment of inertia (I).

Keywords: Deformation, Finite Element, Safety Factor

KATA PENGANTAR



Assalamu 'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis *Steel Combined Wall* dengan *Tubular Pile* Terhadap Stabilitas Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Fadliansyah, ST., M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain.ST, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Sri Prafanti, ST., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Terimakasih yang teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Muhammad Azhary Siregar dan Ibunda tercinta Hemalina Sari Gultom yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
8. Sahabat-sahabat penulis yaitu Teknik Sipil 2017, Keluarga D1 Pagi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dan seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Keluarga Besar Pimpinan Komisariat Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Wassalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 17 September 2021

Nurul Wahidah Siregar

DAFTAR ISI

LEMBAR PESETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanah	5
2.1.1 Klasifikasi Tanah	5
2.1.1.1 Sistem Klasifikasi USCS	5
2.1.1.2 Sistem Klasifikasi AASHTO	7
2.1.2 Parameter Tanah	10
2.1.2.1 Berat Isi (γ_{sat} dan γ_{unsat})	11
2.1.2.2 Poisson Ratio	11
2.1.2.3 Effective Young's Modulus	12
2.1.2.4 Shear Modulus (G)	13
2.1.2.5 Oedometer Modulus (E_{oed})	13
2.1.2.6 Sudut Geser Dalam	13
	ix

2.1.2.7	Kohesi	13
2.2	Tekanan Tanah Lateral	13
2.2.1	Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam (At Rest)	14
2.2.2	Tekanan Aktif dan Pasif menurut Rankine	16
2.2.2.1	Kondisi Aktif	16
2.2.2.2	Kondisi Pasif	18
2.3	Turap	19
2.3.1	Fungsi Turap	20
2.3.2	Tipe-Tipe Turap	20
2.3.2.1	Dinding Turap Diangker	21
2.3.2.2	Dinding Turap Dengan Landasan	22
2.3.3	Macam-macam Turap	23
2.3.3.1	Turap Kayu	23
2.3.3.2	Turap Beton	24
2.3.3.3	Turap Baja	24
2.3.4	Metode Konstruksi Turap Kantilever	28
2.3.4.1	Turap Kantilever dengan Pasir	30
2.3.4.2	Turap Kantilever dengan Lempung	32
2.4	Metode Elemen Hingga	33
2.4.1	Matriks Kekakuan Elemen	34
2.4.2	Tipe-Tipe Elemen Dalam Metode Elemen Hingga	35
2.4.2.1	Elemen Satu Dimensi	35
2.4.2.2	Elemen Dua Dimensi	35
2.4.2.3	Elemen Tiga Dimensi	36
2.5	Metode Limit Equilibrium	36
2.6	Penelitian Terdahulu	38
2.6.1	Studi Perencanaan Desain Turap Baja Dengan metode Finite Element Di Bantaran Sungai Jelarai Tanjung Selor (Anbya, 2015)	38
2.6.2	Analisa Tegangan Perpindahan Dan Faktor Keamanan (SF) Pada Lereng Miring Dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Program Geostructural Analysis Versi 19 (Fauzi, 2012)	38

2.6.3	Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) (Hamdhan & Pratiwi, 2017)	39
2.6.4	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium) dan Elemen Hingga (Finite Element) (Wulandari, 2017)	39
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Informasi Proyek	41
3.2	Diagram Alir Penelitian	33
3.3	Parameter Desain	44
3.3.1	Stratifikasi Tanah	44
3.3.2	Parameter Tanah	48
3.3.3	Parameter Input Software	50
3.3.4	Desain Combined Wall	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Gambaran Umum Proyek	54
4.2	Analisis Sheet Pile Secara Manual	55
4.3	Analisis Gabungan Sheet Pile pada Combined Wall	59
4.3.1	Combined Wall: 3 hat type sheet pile	59
4.3.2	Combined Wall: 2 hat type sheet pile	61
4.3.3	Combined Wall: 1 hat type sheet pile	62
4.4	Analisis Combined Wall Dengan Metode Elemen Hingga	64
4.4.1	Combined Wall: 1 hat type sheet pile	65
4.4.2	Combined Wall: 2 hat type sheet pile	70
4.4.3	Combined Wall: 3 hat type sheet pile	74
4.4.4	Hubungan Combined Wall dengan Parameter Hasil Analisis Menggunakan Metode Elemen Hingga	77
4.5	Analisis Combined Wall Dengan Metode Limit Equilibrium	80
4.5.1	Combined Wall: 1 hat type sheet pile	80
4.5.2	Combined Wall: 2 hat type sheet pile	83
4.5.3	Combined Wall: 3 hat type sheet pile	85
4.5.4	Hubungan Combined Wall dengan Parameter Hasil	

Analisis Menggunakan Metode Limit Equilibrium	87
4.6 Perbandingan Analisis Menggunakan Elemen Hingga dan Limit Equilibrium	90
4.6.1 Combined Wall: 1 hat type sheet pile	90
4.6.2 Combined Wall: 2 hat type sheet pile	91
4.6.3 Combined Wall: 3 hat type sheet pile	91
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi tanah sistem USCS (Sumber: ASTM D-2487)	6
Tabel 2.2	Klasifikasi tanah sistem AASHTO. Sumber: (Hardiyatmo, 2002a)	7
Tabel 2.3	Lanjutan klasifikasi tanah sistem AASHTO. Sumber: (Hardiyatmo, 2002a)	7
Tabel 2.4	Klasifikasi tanah dari data sondir	8
Tabel 2.5	Hubungan antara konsistensi dengan nilai tekanan konus pada sondir	9
Tabel 2.6	Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N, qc, dan \emptyset	9
Tabel 2.7	Korelasi berat jenis tanah (γ) untuk tanah non kohesif dan kohesif (Sumber: (Whitman, 1962) dalam (Farid Fahlevi, 2019)).	11
Tabel 2.8	Nilai perkiraan angka poisson tanah (Sumber: (Bowles, 1997) dalam (Farid Fahlevi, 2019)).	11
Tabel 2.9	Hubungan antara sudut geser dalam dengan jenis tanah (Sumber: (Farid Fahlevi, 2019)).	13
Tabel 3.1	Hasil Pengujian Bor Mesin BH-1 (Laut)	41
Tabel 3.2	Hasil Pengujian Bor Mesin BH-2 (Laut)	41
Tabel 3.3	Hasil Pengujian Bor Mesin BH-3 (Laut)	42
Tabel 3.4	Hasil Pengujian Bor Mesin BH-4 (Laut)	42
Tabel 3.5	Tabel Parameter Tanah (<i>Soil Properties</i>)	44
Tabel 3.6	Tabel Parameter Tanah (<i>engineering properties</i>)	45
Tabel 3.7	Tabel Data Input Software	46
Tabel 3.8	Spesifikasi Steel Pipe Pile (SPP)	47
Tabel 3.9	Spesifikasi Hat type - Sheet Pile	47
Tabel 3.10	Parameter Struktur Combined Wall	48
Tabel 4.1	Tekanan Tanah Aktif	53
Tabel 4.2	Tekanan Tanah Pasif	53
Tabel 4.3	Moment pada tanah aktif	53
Tabel 4.4	Moment pada tanah pasif	54

Tabel 4.5	Tabel Spesifikasi Tubular Pile dengan 3 Hat type Sheet Pile	56
Tabel 4.6	Tabel Spesifikasi Tubular Pile dengan 2 Hat type Sheet Pile	58
Tabel 4.7	Tabel Spesifikasi Tubular Pile dengan 1 Hat type Sheet Pile	60
Tabel 4.8	Tabel hasil analisis combined wall terhadap deformasi (FEM)	75
Tabel 4.9	Tabel hasil analisis combined wall terhadap safety factor (FEM)	75
Tabel 4.10	Tabel Hasil Analisis Combined Wall terhadap Deformasi (LEM)	84
Tabel 4.11	Tabel Hasil Analisis Combined Wall terhadap Safety Factor (LEM)	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan antar fase tanah	10
Gambar 2.2	Tekanan tanah dalam keadaan diam (at rest) (Sumber: (Das, 1993)).	15
Gambar 2.3	Tekanan tanah aktif menurut Rankine (Sumber: (Das, 1993)).	18
Gambar 2.4	Gambar 2.4 Tekanan tanah pasif menurut Rankine (Sumber: (Das, 1993)).	19
Gambar 2.5	Dinding Turap Kantilever (Sumber: (Hardiyatmo, 2002b)).	21
Gambar 2.6	Dinding Turap Diangker (Sumber : (Bowles, 2005)).	22
Gambar 2.7	Dinding Dinding turap dengan landasan yang didukung tiang-tiang (Sumber: (Bowles, 2005)).	23
Gambar 2.8	Turap Kayu (Sumber: (Hardiyatmo, 2002b)).	23
Gambar 2.9	Turap Beton (Sumber: (Das, 2007)).	24
Gambar 2.10	Turap Baja (Sumber : (Das, 2007)).	25
Gambar 2.11	Dinding Steel Sheet Pile	25
Gambar 2.12	Tubular Pile	26
Gambar 2.13	Beberapa jenis Hat type sheet pile	27
Gambar 2.14	<i>combined wall tubular pile with Hat type sheet pile</i> (Sumber : (ArcelorMittal SheetPile, n.d.))	28
Gambar 2.15	Struktur Urugan (<i>backfilled structure</i>).	29
Gambar 2.16	Struktur Galian (<i>dredged structure</i>)	29
Gambar 2.17	Tiang turap kantilever tertanam dalam pasir (a) Variasi diagram tekanan bersih (b) Variasi momen (Sumber : (Das, 2007)).	30
Gambar 2.18	Turap kantilever pada lempung (Sumber: (Das, 2007)).	32
Gambar 2.19	Pemodelan Mohr Coloumb	34
Gambar 2.20	Elemen satu dimensi	35
Gambar 2.21	Elemen dua dimensi segi tiga dan segi empat	36
Gambar 2.22	Elemen tiga dimensi tetrahedra dan balok	36
Gambar 2.23	Metode Limit Equilibrium Circular	37

Gambar 2.24	Metode Limit Equilibrium Non-Circular	37
Gambar 3.1	Lokasi Proyek	41
Gambar 3.2	Layout Fase 1 dan 2	42
Gambar 3.3	Layout Sheet Pile Fase 1	42
Gambar 3.4	Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 3.5	Rencana Titik Test Bor Mesin	44
Gambar 3.6	Stratifikasi Tanah Berdasarkan Titik Bor	47
Gambar 3.7	Combined Wall	50
Gambar 3.8	Tampak Atas Combined Wall	52
Gambar 3.9	Potongan Tipikal Area Interface	53
Gambar 3.10	Potongan Melintang Combined Wall	53
Gambar 4.1	Diagram Tekanan Tanah	55
Gambar 4.2	Combined Wall : 2 Tubular dengan 3 hat type sheet pile	57
Gambar 4.3	Combined Wall : 2 Tubular Pile dengan 2 hat type sheet pile	59
Gambar 4.4	Combined Wall : 2 Tubular Pile dengan 1 hat type sheet pile	61
Gambar 4.5	Generate Mesh Connectivity Plot	63
Gambar 4.6	Tegangan Efektif Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	65
Gambar 4.7	Deformasi Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	65
Gambar 4.8	Total Displacement Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	65
Gambar 4.9	Axial Force Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	66
Gambar 4.10	Bending Moment Combined Wall dengan 1 sheet pile	66
Gambar 4.11	Shear Force Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	67
Gambar 4.12	Safety Factor Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	68
Gambar 4.13	Tegangan Efektif Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	68
Gambar 4.14	Deformasi Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	69
Gambar 4.15	Total Displacement Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	69
Gambar 4.16	Axial Force Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	70
Gambar 4.17	Bending moment Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	70

Gambar 4.18	Shear Force Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	71
Gambar 4.19	Safety Factor Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	71
Gambar 4.20	Tegangan Efektif Combined Wall dengan 3 sheet pile	72
Gambar 4.21	Deformasi Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	73
Gambar 4.22	Deformasi Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	73
Gambar 4.23	Axial Forces Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	74
Gambar 4.24	Bending Moment Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	74
Gambar 4.25	Shear Forces Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	75
Gambar 4.26	Safety Factor Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	75
Gambar 4.27	Grafik hubungan tipe combined wall dengan deformasi dan bending moment	78
Gambar 4.28	Grafik hubungan combined wall dengan shear forces dan safety factor	78
Gambar 4.29	Tekanan Tanah dan Displacement Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	79
Gambar 4.30	Bending Moment dan Shear Forces Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	80
Gambar 4.31	Displacement dan Preassure acting Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	81
Gambar 4.32	Terrain Settlement Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	81
Gambar 4.33	Tekanan Tanah dan Displacement Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	82
Gambar 4.34	Bending Moment dan Shear Forces Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	82
Gambar 4.35	Displacement dan Preassure acting Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	83
Gambar 4.36	Terrain Settlement Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	83
Gambar 4.37	Tekanan Tanah dan Displacement Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	84
Gambar 4.38	Bending Moment dan Shear Forces Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	85
Gambar 4.39	Displacement dan Preassure acting Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	85

Gambar 4.40	Terrain Settlement Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	86
Gambar 4.41	Grafik Hubungan Combined Wall dengan Bending Moment dan Deformasi	88
Gambar 4.42	Grafik Hubungan Tipe Combined Wall dengan Shear Force dan Safety Factor	88
Gambar 4.43	Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile	90
Gambar 4.44	Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile	90
Gambar 4.45	Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile	92

DAFTAR NOTASI

- GW = kerikil gradasi baik dan campuran pasir kerikil sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
- GP = kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil atau tidak mengandung butiran halus.
- GM = kerikil berlanau, campuran kerikil pasir lempung.
- GC = kerikil berlempung, campuran kerikil pasir lempung.
- SW = pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
- SP = Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
- SM = Pasir berlanau, campuran pasir – lanau.
- SC = Pasir berlempung, campuran pasir – lempung.
- ML = lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung.
- CL = lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays").
- CL = lanau organik dan lempung berlanau Organic dengan plastisitas rendah.
- MH = lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.
- CH = lanau tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays").
- CH = lempung tak organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.
- Pi = gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi.
- LL = Batas Cair (%)
- PL = Indeks Plastisitas (%)
- PI = Batas Plastisitas (%)
- G = Indeks Kelompok
- Qc = Tekanan Conus (kg/cm^2)
- fs = Hambatan Pelekat
- c = Undrained Cohesion (T/m^2)
- γ_d = Relatif Density

- ϕ = Sudut Geser ($^{\circ}$)
 γ_{sat} = Gamma Saturated / Berat jenis tanah jenuh (kN/m^3)
 γ_{unsat} = Gamma Unsaturated / Berat jenis tanah (kN/m^3)
 μ = Angka Poisson Tanah '
 E' = Effective Young's Modulus (kN/m^2)
 N = Nilai N-SPT
 G = Shear Modulus / Modulus Geser (kN/m^2)
 E_{oed} = Oedometer Modulus (kN/m^2)
 c = Kohesi
 σ_v = Tekanan Arah Vertikal
 σ_h = Tekanan Arah Horizontal
 K_o = Koefisien tekanan tanah pada saat diam
 PI = Indeks Plastis untuk tanah lempung yang terkonsolidasi lebih (overconsolidated).
 OCR = overconsolidation ratio.
 K_a = Koefisien tekanan tanah aktif.
 K_p = Koefisien tekanan tanah pasif.
 L = Kedalaman pada sheet pile.
 z = pada kedalaman muka galian.
 p = Gaya yang diberikan pada Sheet pile.
 A = Luasan bidang gaya.
 D = Kedalaman pemancangan sheet pile.
 $\{F\}$ = matriks kolom gaya dan momen pada nodal elemen.
 $[K]$ = matriks kekakuan elemen.
 $\{u\}$ = matriks kolom berisi perpindahan translasi dan rotasi nodal elemen.
 SF = Safety Factor.
 w = Kadar air (%).
 e = void ratio.
 n = porosity.
 G_s = Spesific Gravity.
 ψ = Dilatancy Angel.
 D = Diameter (mm).

t	= Thickness (mm).
I	= Momen Inersia (cm ⁴).
W	= Modulus Section (cm ³).
A	= Sectional Area (cm ²).
G	= Massa (kg/m).
EA	= Kekakuan Normal (kN/m).
EI	= Kekakuan Lentur (kN.m ² /m).
w	= Berat (kN/m/m).
Z _f	= Titik Jepit.
T	= Faktor Kekakuan.
E	= Modulus Elastisitas.
N _h	= Koefisien Modulus Variasi sebesar 700 kN/m ³ untuk tanah lempung.
D _o	= Kedalaman sebelum ditambah titik jepit.
B _{sys}	= Jarak antara tubular pile.
σ' _x	= Tegangan Efektif (kN.m ²).
u	= Deformasi (cm).
N	= Gaya Normal / Axial Forces (kN/m).
M	= Bending Moment (kNm/m).
Q	= Shear Forces (kN/m).
δ _h	= Defleksi Izin (cm)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan Belawan merupakan pelabuhan terpenting di Sumatera, dengan tingkat kelas utama yang bernaung dibawah PT. Pelabuhan Indonesia I. Pada tahun 1938, Pelabuhan Belawan menjadi pelabuhan terbesar di wilayah Hindia Belanda. Karena aktivitas pelabuhan semakin meningkat, terdapat banyak kapal domestik ataupun internasional yang beroperasi di pelabuhan ini. Maka dari itu pembangunan dan peningkatan fasilitas terus dilakukan. Salah satu bukti bahwasanya aktivitas terus meningkat yaitu masih berlangsungnya pembangunan sampai saat ini.

Pada tahun 2017, Reklamasi dilakukan oleh Kementrian 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. Secara bertahap namun pasti peningkatan pelabuhan terus berjalan. Setelah terminal fase 2 selesai dibangun dan sudah mulai beroperasi, saat ini akan dilanjutkan ke pembangunan terminal petikemas fase 1. Terminal ini akan dibuat serupa dengan fase 2, sebuah terminal yang lengkap dengan fasilitasnya.

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). Jenis turap dapat dibagi menurut segi konstruksi (turap tanpa angkur dan turap dengan angkur), dan jenis turap menurut segi bahan (turap kayu, baja, dan beton bertulang) (Hardiyatmo, 2002b).

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.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disajikan, maka rumusan masalah yang akan dikaji adalah:

1. Bagaimana analisis stabilitas pada *combined wall* dengan 3 desain *hat type sheet pile*.
2. Berapa nilai *safety factor combined wall* dengan 3 desain *hat type sheet pile*.
3. Bagaimana perbandingan analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan metode limit equilibrium (LEM).

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis stabilitas *combined wall* dengan 3 desain *hat type sheet pile*.
2. Untuk mengetahui nilai *safety factor combined wall* dengan 3 desain *hat type sheet pile*.

3. Untuk mengetahui perbandingan analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan metode limit equilibrium (LEM).

1.4 Batasan Masalah

Dengan keterbatasan waktu yang dimiliki dan mempertimbangkan luasnya faktor-faktor yang berpengaruh, maka dalam studi kasus ini digunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Jenis turap yang digunakan terbuat dari baja dengan bentuk yang dikombinasi *Tubular Pile dan Hat type Sheet Pile*.
2. Menganalisis *combined wall* dengan 3 desain *hat type sheet pile* yang terdiri dari gabungan tubular pile dengan 1 hat type sheet pile, 2 hat type sheet pile dan 3 hat type sheet pile.
3. Menganalisis stabilitas terhadap *combined wall*.
4. Mencari nilai faktor keamanan (*safety factor*) terhadap *combined wall*.
5. Analisis pemodelan menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) dan Metode Limit Equilibrium (LEM) dengan bantuan software komputer.
6. Dalam penelitian ini, tidak meninjau pada saat kondisi gempa.
7. Dalam pembahasan tugas akhir ini tidak meninjau perencanaan biaya.
8. Data dan parameter tanah yang digunakan didapatkan langsung dari PT. Pelindo 1 (Persero).

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil perhitungan menghasilkan serangkaian analisis stabilitas dinding penahan tanah atau *steel combined wall* menghasilkan data mekanisme keruntuhan yang mungkin akan terjadi di kemudian hari dengan beban yang semakin bertambah. Hasil penelitian ini juga dapat memberikan manfaat dan acuan bagi penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memperjelas tahapan yang dilakukan dalam tugas akhir ini, di dalam penulisannya dikelompokkan ke dalam 5 (lima) bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini meliputi pengambilan teori dari beberapa sumber bacaan dan narasumber yang mendukung analisa permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang pendeskripsian dan langkah langkah yang akan dilakukan. Cara memperoleh data-data yang relevan dengan studi kasus yang berisikan objek, alat-alat, tahapan dan kebutuhan data.

BAB 4 ANALISA DATA

Bab ini membahas tentang proses pengolahan data, penyajian data dan hasil data.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan logis berdasarkan analisis data, temuan dan bukti yang disajikan sebelumnya yang menjadi dasar untuk menyusun suatu saran sebagai suatu usulan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti bendungan atau dapat juga sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan seperti tembok/dinding penahan tanah. Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Das, 1995).

Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan di belakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah lempung dan seandainya.

2.1.1 Klasifikasi Tanah

2.1.1.1 Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem USCS digunakan oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Dalam buku mekanika tanah 1 (Hardiyatmo, 2002a) sistem ini mengklasifikasikan tanah menjadi dua kategori, yaitu tanah kasar dan tanah halus berdasarkan (ASTM D-2487).

Tabel 2. 1 Klasifikasi tanah sistem USCS (Sumber: ASTM D-2487)

Devisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan n0.200 (0,075 mm)	kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan n0.4 (4,75 mm)	kerikil bersih (sedikit atau ada butiran halus)	GW	kerikil gradasi baik dan campuran pasir kerikil sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		kerikil banyak	GP	kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil atau tidak mengandung butiran halus
		kandungan butiran halus	GM	kerikil berlanau, campuran kerikil pasir lempung
			GC	kerikil berlempung, campuran kerikil pasir lempung
	pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no.4(4,75 mm)	kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		kerikil banyak kandungan butiran halus	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
Tanaha berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075mm)	lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
		CL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH	lanau tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		CH	lempung tak organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
tanah dengan kadar organik tinggi		Pi	gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organi tinggi	

2.1.1.2 Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Society for Testing and Materials*)

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dan membagi tanah dalam 7 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Berguna juga untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisa saringan dan batas-batas Atterberg. Untuk memahami klasifikasi tanah sistem ini berdasarkan buku Mekanika Tanah 1 (Hardiyatmo, 2002a) berikut ini:

Tabel 2. 2 Klasifikasi tanah sistem AASHTO. Sumber: (Hardiyatmo, 2002a)

Klasifikasi Umum	Material granuler (<35 % lolos saringan no. 200)						
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
	A-1-a	A-1-b					
Analisis Saringan (% lolos)							
2,00 mm (no.10)	50maks	-		-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30maks	50 min	51 min	-	-	-	-
0,075 mm(no.200)	15maks	25 min	10 maks	35 maks	35 Maks	35 Maks	35 Maks
Sifat fraksi lolos saringan no.40	6 maks						
Batas cair (LL)			-	40 Maks	41 Maks	40 mak	41 Maks
Indeks Plastis (PL)			Np	10 Maks	10 Maks	11 maks	11 Maks
Indeks Kelompok (G)	0		0	0		4	
Tipe Material yang pokok pada umumnya	pecahan batu kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan Pasir			
penilaian umum sebagai tanah dasar	sangat baik sampai baik						

Tabel 2. 3 Lanjutan klasifikasi tanah sistem AASHTO. Sumber: (Hardiyatmo, 2002a)

Klasifikasi Umum	Tanah-tanah lanau lempung (<355 lolos saringan no. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5/A-7-7
Klasifikasi Kelompok				
Analisis Saringan (% lolos)				
2,00 mm (no.10)	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	-	-	-	-
0,075 mm(no.200)	36 maks	36 maks	36 maks	36 maks
Sifat fraksi lolos saringan no.40				
Batas cair (LL)	40 maks	41 maks	40 maks	41 maks
Indeks Plastis (PL)	10 maks	10 maks	11 maks	11 maks
Indeks Kelompok (G)	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe Material yang pokok pada umumnya	tanah berlanau		tanah berlempung	
penilaian umum sebagai tanah dasar	sedang sampai buruk			

2.1.1.3 Klasifikasi Tanah Dari Data Sondir

Data tekanan *conus* (qc) dan hambatan pelekat (fs) yang didapatkan dari hasil pengujian sondir dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 4 Klasifikasi tanah dari data sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc	fs	
6.0	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 - 10,0	0.2	Pasir Kelanauan lepas, pasir sangay lepas
	0.20 - 0,60	lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10, 0 - 30,0	0.10	Kerikik lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,40 - 0,80	Lempung atau lempung kelasnau
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1.5	Pasir kelanauan, Pasir agak padat
	1,0 - 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 - 150	1.0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 - 3,0	

		Pasir padat, Pasir kelaaun atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3.0	lempung kerikil kenyal
150 - 300	1,0 - 2,0	pasir Padat, pasir kerikilan, pasir kasar pasir, pasir kenalanauan sangat padat

Hubungan antara konsistensi terhadap tekanan *conus* dan *undrained cohesion* adalah sebanding di mana semakin tinggi nilai *c* dan *qc* maka semakin keras tanah tersebut. Seperti yang terlihat dalam Tabel 2.5

Tabel 2. 5 Hubungan antara konsistensi dengan nilai tekanan konus pada sondir

Konsistensi Tanah	Tekanan Konus <i>qc</i> (kg/cm ²)	Undrained Cohesion (T/m ²)
Very Soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
Medium Stiff	5,0 – 10,0	2,50 – 5,0
Stiff	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
Very Stiff	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
Hard	>40,0	>20,0

Begitu pula hubungan antara kepadatan dengan *relative density*, nilai *N SPT*, *qc* dan ϕ adalah sebanding. Hal ini dapat dilihat dalam pada Tabel 2.6.

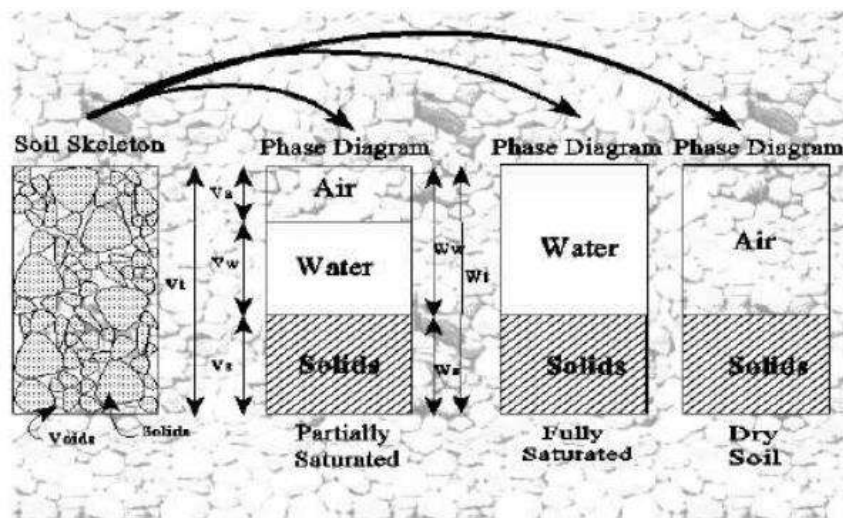
Tabel 2. 6 Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai *N*, *qc*, dan ϕ

Kepadatan	Relatif Density (γ_d)	Nilai <i>N</i> SPT	Tekanan Konus <i>qc</i> (kg/cm ²)	Sudut Geser (ϕ°)
Very Loose (sangat lepas)	<0,2	<4	<20	<30
Loose (lepas)	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Medium Dense (agak kompak)	0,4 – 0,6	10 – 30	40,0 – 120	35 – 40
Dense (kompak)	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Very Dense (sangat kompak)	0,8 – 1,0	>50	>200	>45

2.1.2 Parameter Tanah

Dalam mendesain bangunan geoteknik, diperlukan data tanah yang dapat menunjukkan kondisi tanah di lapangan. Data yang diperlukan dapat berupa data pengujian di laboratorium dan data hasil pengujian di lapangan. Pengambilan sampel tanah dan pengujian laboratorium tidak dilakukan pada seluruh lokasi melainkan di tempat-tempat yang memungkinkan dianggap mewakili lokasi sebenarnya.

Secara umum elemen tanah dibagi atas 3 fase, yaitu butiran padat air dan udara. Pemahaman mengenai komposisi tanah diperlukan untuk mengambil keputusan dalam memperoleh parameter tanah (Das, 1995). Berdasarkan ketiga fase tersebut, diperoleh hubungan antara volume dengan berat seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 1 Hubungan antar fase tanah

Hubungan volume yang umum digunakan untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), sedangkan untuk hubungan berat digunakan istilah kadar air (*water content*), dan berat volume (*unit weight*). Hubungan-hubungan tersebut dapat dikembangkan sehingga dapat digunakan parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan desain.

2.1.2.1 Berat Isi (γ_{sat} dan γ_{unsat})

Berat volume atau berat isi (γ) merupakan berat tanah per satuan volume, maka

$$\gamma = \frac{\text{Berat (w)}}{\text{volume (v)}}$$

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) pada tanah kohesif dan non kohesif dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Korelasi berat jenis tanah (γ) untuk tanah non kohesif dan kohesif (Sumber: (Whitman, 1962) dalam (Farid Fahlevi, 2019)).

	Cohesionless				
N	0-10	11 - 30	31 - 50	>50	
unit weight γ , Kn/m ³	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23	
Angle of Friction, state	25 - 32	28 - 36	30 - 40	>35	
	Cohesive				
N	>4	4- 6	6- 15	16 - 25	>25
unit weight γ , kN/m ³	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	>20
qa, kPa	<25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	>100
state	<i>very soft</i>	<i>soft</i>	<i>medium</i>	<i>stiff</i>	<i>hard</i>

2.1.2.2 Poisson Ratio

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasar jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Nilai perkiraan angka poisson tanah (Sumber: (Bowles, 1997) dalam (Farid Fahlevi, 2019)).

Macam Tanah	μ (angka poisson tanah)
Lempung Jenuh	0,40-0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10 - 0,30
Lempung berpasir	0,20 - 0,30
Lanau	0,30 - 0,35
Pasir Padat	0,20 - 0,40
Pasir Kasar	0,15
Pasir Halus	0,25
batu	0,10 - 0,40
loess	0,10 - 0,30

2.1.2.3 Effective Young's Modulus (E')

Modulus Young sebagai modulus kekakuan dasar dalam model Mohr-Coloumb. Nilai parameter kekakuan yang diambil dalam perhitungan membutuhkan perhatian yang khusus di mana material tanah memperlihatkan sifat non-linear sejak dari awal pembebanan (Kementrian PUPR, 2019). Nilai modulus young didapatkan dari korelasi N-SPT sebagai berikut:

Untuk lempung,

$$E \approx 479 (N+15) \text{ kN/m}^2$$

Untuk pasir,

$$E \approx 100C (N+6) \text{ kN/m}^2$$

Keterangan :

N = Nilai N-SPT

C = 3 untuk pasir berlempung ; 12 untuk pasir sedang

2.1.2.4 Shear Modulus (G)

Modulus geser tanah adalah merupakan salah satu parameter tanah yang harus diketahui untuk menjalankan getaran akibat gempa bumi. Nilai G didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Bentley, 2020) :

$$G = \frac{E'}{2(1 + \mu')}$$

Keterangan :

E' = Effective Young Modulus (kN/m²)

μ' = Poisson Ratio

2.1.2.5 Oedometer Modulus (E_{oed})

Oedometer Modulus merupakan deformasi yang cenderung menurun nilainya dengan meningkatnya interval tegangan. Didapatkan dengan rumus (Bentley, 2020):

$$E_{oed} = \frac{E'(1 - \mu')}{(1 + \mu')(1 - 2\mu')}$$

Keterangan:

E' = Effective Young Modulus (kN/m²) ; μ' = Poisson Ratio

2.1.2.6 Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 9 Hubungan antara sudut geser dalam dengan jenis tanah (Sumber: (Farid Fahlevi, 2019)).

Jenis Tanah	Sudut Geser dalam
Kerikil Kepasiran	35° - 40°
Kerikil Kerakal	35° - 40°
Pasir Padat	35° - 40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25° - 30°
Lempung	20° - 25°

2.1.2.7 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor keamanan dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (qc) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi } (c) = qc / 20$$

2.2. Tekanan Tanah Lateral

Analisis tekanan tanah lateral digunakan untuk perencanaan dinding penahan tanah. Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan lateral sangat

dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanahnya.

Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan plastis, yaitu pada saat massa tanah pada kondisi tepat akan runtuh. Kedudukan keseimbangan plastis ini hanya dapat dicapai bila terjadi deformasi yang cukup pada massa tanahnya. Besar dan distribusi tekanan tanah adalah fungsi dari perubahan letak (*displacement*) dan regangan (*strain*) (Hardiyatmo, 1996).

2.2.1 Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam (*At Rest*)

Suatu elemen tanah yang terletak pada kedalaman tertentu akan terkena tekanan arah vertikal (σ_v) dan tekanan arah horizontal (σ_h). σ_v dan σ_h masing-masing merupakan tekanan aktif dan tekanan total, sementara itu masing-masing merupakan tegangan geser pada bidang tegak dan bidang datar diabaikan. Bila dinding penahan tanah dalam keadaan diam, yaitu bila dinding tidak bergerak ke salah satu arah balik ke kanan atau ke kiri dari posisi awal, maka masa tanah berada dalam keadaan keseimbangan elastis (*elastic equilibrium*) (Das, 1993). Rasio tekanan arah horizontal dan tekanan arah vertikal dinamakan “koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (*coefficient of earth pressure at rest*)”. K_0 ”, atau

$$k_v = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

dengan:

$$\sigma_v = \text{berat jenis} \times \text{kedalaman}$$

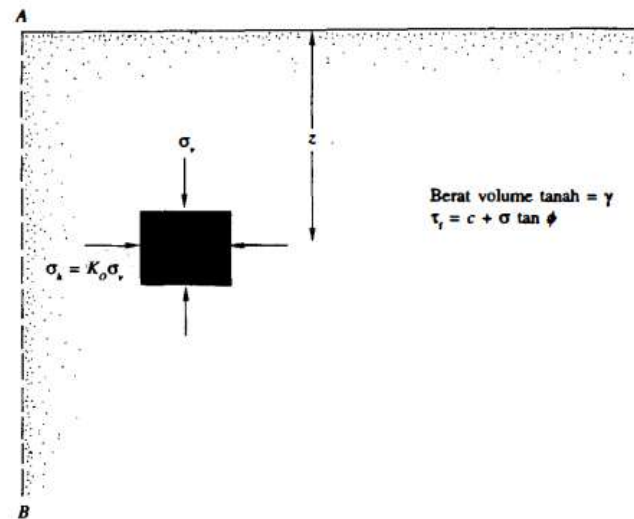
$$\sigma_v = \gamma z$$

$$\sigma_h = k_0(\gamma z)$$

Untuk tanah berbutir, koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam diperkenalkan oleh Jaky (1944):

$$k_0 = 1 - \sin\theta$$

Brooker dan Ireland (1965) memperkenalkan harga K_0 untuk lempung yang terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) :



Gambar 2. 2 Tekanan tanah dalam keadaan diam (at rest) (Sumber: (Das, 1993)).

$$k_0 = 0.95 - \sin\theta$$

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal (normally consolidated), Alpan (1967) telah memperkenalkan persamaan empiris lain:

$$k_0 = 0.19 + 0.233 \log(PI)$$

di mana:

PI = Indeks Plastis untuk tanah lempung yang terkonsolidasi lebih (overconsolidated).

$$k_{0(\text{over consolidated})} = k_{0(\text{normally consolidated})} \sqrt{OCR}$$

di mana:

OCR = overconsolidation ratio

$$OCR = \frac{\text{tekanan pra konsolidasi}}{\text{tekanan vertikal akibat lapisan di atasnya}}$$

Maka gaya total per satuan lebar dinding (P_0) seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 adalah sama dengan luas dari diagram tekanan tanah yang bersangkutan.

$$\text{Jadi: } P_0 = \frac{1}{2} k_0 \gamma H^2$$

2.2.2 Tekanan Aktif dan Pasif menurut Rankine

Yang dimaksud dengan keseimbangan plastis (*plastic equilibrium*) di dalam tanah adalah suatu keadaan yang menyebabkan tiap-tiap titik di dalam massa tanah

menuju proses ke suatu keadaan runtuh. Rankine (1857) menyelidiki keadaan tegangan di dalam tanah yang berada pada kondisi keseimbangan plastis.

2.2.2.1 Kondisi Aktif

Pada Gambar 2.5(a) ditunjukkan suatu massa tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Tanah tersebut dibatasi oleh tembok dengan permukaan licin (AB) yang dipasang sampai kedalaman tak terhingga. Tegangan-tegangan utama arah vertikal dan horizontal (total dan efektif) pada elemen tanah di suatu kedalaman (z) adalah berturut-turut σ_h dan σ_v .

Apabila dinding AB tidak diijinkan bergerak sama sekali, maka $\sigma_h = K_0 \sigma_v$. Akan tetapi, bila dinding AB diijinkan bergerak menjauhi massa tanah secara perlahan-lahan, maka tegangan utama arah horizontal akan berkurang secara terus-menerus. Akhirnya suatu kondisi keseimbangan plastis akan dicapai bila kondisi tegangan di dalam elemen tanah dan kelonggaran di dalam tanah terjadi. Keadaan tersebut dinamakan “kondisi aktif menurut Rankine”, tekanan σ_a yang bekerja pada bidang vertikal (yang merupakan bidang utama) adalah tekanan tanah aktif menurut Rankine (Das, 1993). Nilai σ_a dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang didapat dari penurunan fungsi γ , z , c dan ϕ dari Gambar 2.5(b).

$$\sin \phi = \frac{CD}{AC} = \frac{CD}{AO + OC}$$

Dengan, $CD = \text{jari-jari lingkaran keruntuhan} = \frac{\sigma_v - \sigma_a}{2}$

$$AO = c \cot \phi$$

$$OC = \frac{\sigma_v + \sigma_a}{2}$$

sehingga,

$$\sin \phi = \frac{\frac{\sigma_v - \sigma_a}{2}}{c \cot \phi + \frac{\sigma_v + \sigma_a}{2}}$$

atau

$$c \cos \phi + \frac{\sigma_v + \sigma_a}{2} \sin \phi = \frac{\sigma_v - \sigma_a}{2}$$

atau

$$\sigma_a = \sigma_v \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} - 2c \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi}$$

Dalam kasus ini, $\sigma_v = \text{tekanan efektif akibat lapisan tanah di atasnya} = \gamma z$

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

$$\frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} = \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

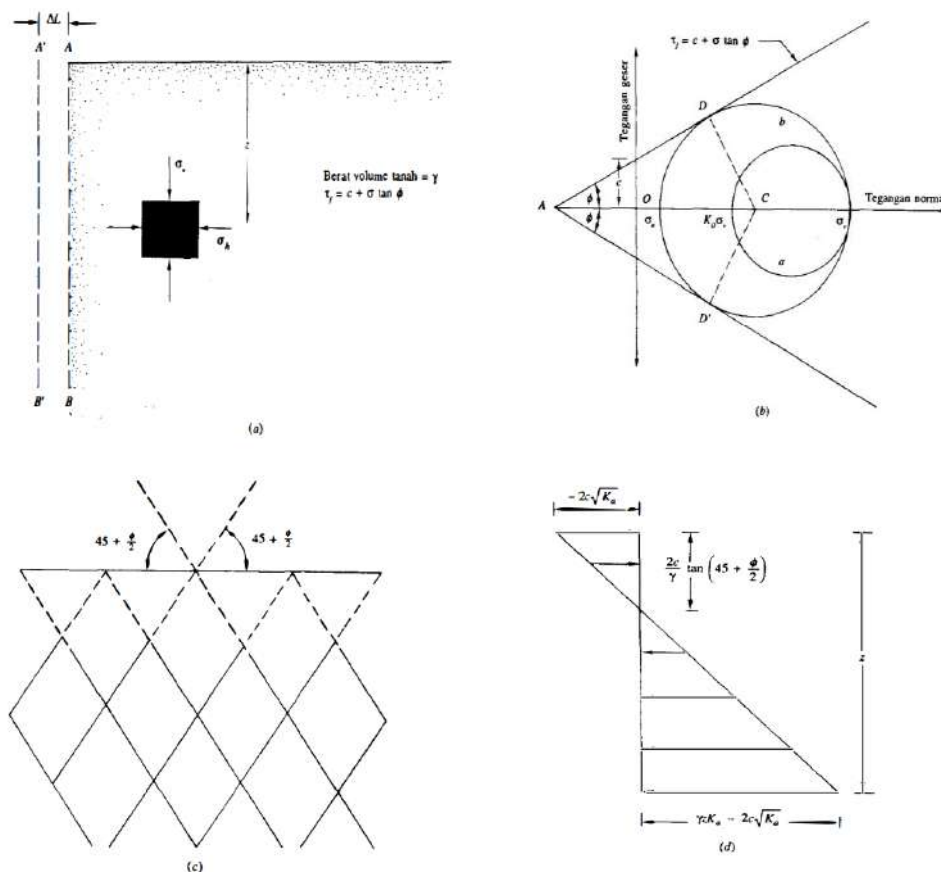
Dengan memasukkan persamaan-persamaan di atas ke dalam persamaan sebelumnya, maka didapatkan:

$$\sigma_a = \gamma z \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Rasio σ_a dengan kedalaman diberikan dalam Gambar 2.5(b). Untuk tanah yang tidak berkohesi (cohesionless soil), $c = 0$ maka:

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

Dari Gambar 2.3 (b) dapat dilihat bahwa bidang runtuh di dalam tanah membentuk sudut $\pm \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$ dengan arah dari bidang utama besar (major principal plane), yaitu bidang horizontal. Bidang runtuh ini dinamakan bidang geser (slip plane). Bidang geser tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.3(c).



Gambar 2.3 Tekanan tanah aktif menurut Rankine (Sumber: (Das, 1993))

2.2.2.2 Kondisi Pasif

Kondisi pasif menurut Rankine dapat dijelaskan dengan Gambar 2.4. AB adalah tembok licin tak terhingga. Keadaan tegangan awal pada suatu elemen tanah diwakili oleh lingkaran *Mohr* a dalam Gambar 2.4b. Apabila tembok didorong secara perlahan-lahan ke arah masuk ke dalam massa tanah, maka tegangan utama σ_h akan bertambah secara terus-menerus. Akhirnya kita akan mendapatkan suatu keadaan yang menyebabkan kondisi tegangan elemen tanah dapat diwakili oleh lingkaran *Mohr* b.

Pada keadaan ini, keruntuhan tanah akan terjadi yang saat ini kita kenal sebagai kondisi pasif menurut Rankine (*Rankine's passive state*). Di samping itu tekanan tanah ke samping σ_h , yang merupakan tegangan utama besar (*major principal stress*), kita namakan tekanan tanah pasif menurut Rankine (*Rankine's passive earth pressure*) (Das, 1993). Dari Gambar 2.6b dapat kita lihat bahwa:

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \sigma_v \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \gamma z \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)\end{aligned}$$

Penurunannya serupa dengan penurunan untuk kondisi aktif menurut Rankine (*Rankine's active state*). Gambar 2.4b menunjukkan variasi tekanan aktif dengan kedalaman. Untuk tanah tidak berkoheesi ($c = 0$),

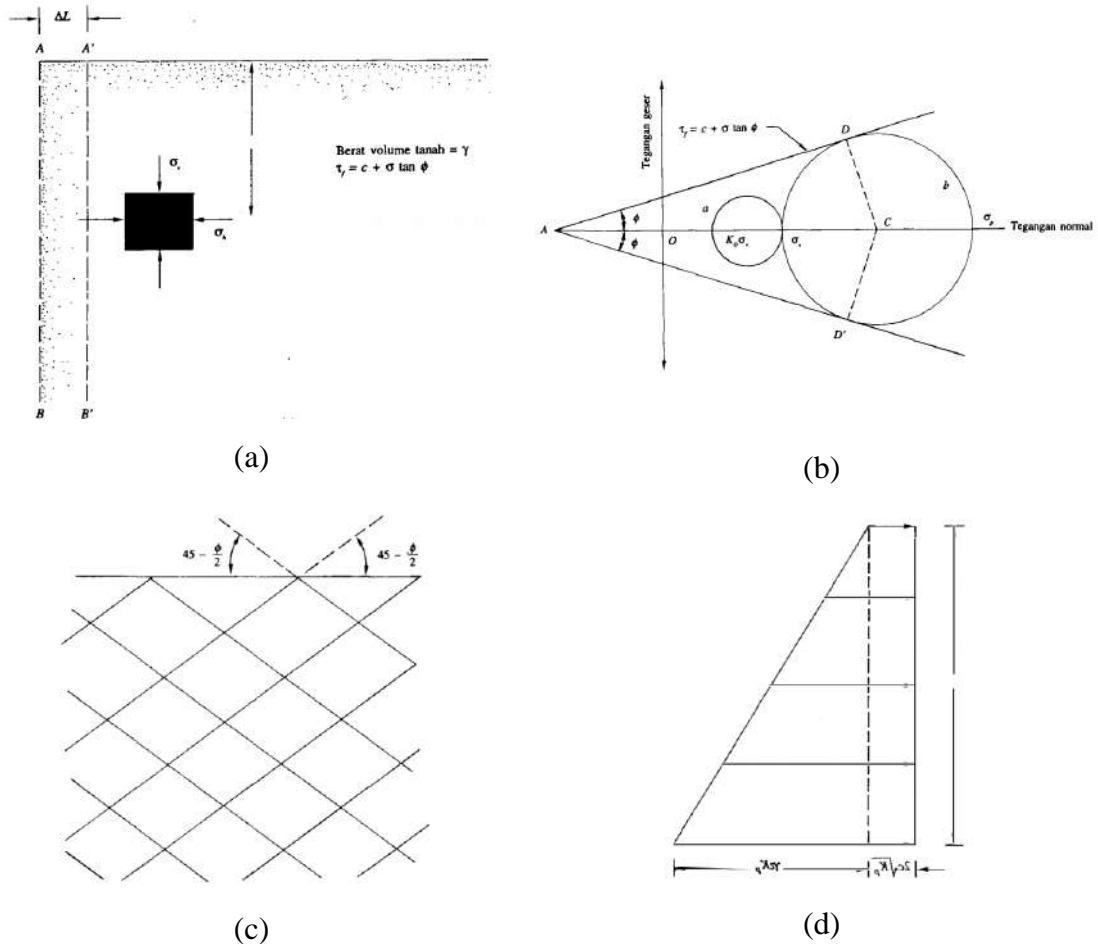
$$\sigma_p = \sigma_v \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

atau

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_v} = K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

K dari persamaan di atas dinamakan sebagai koefisien tekanan tanah pasif menurut Rankine. Titik-titik D dan D' pada lingkaran keruntuhan (Gambar 2.4b) bersesuaian dengan bidang geser di dalam tanah. Untuk kondisi pasif (menurut Rankine) bidang geser membuat sudut $\pm \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$ dengan arah dari bidang utama kecil (*minor principal plane*), yaitu arah horisontal Gambar 2.4c menunjukkan distribusi bidang-bidang geser di dalam massa tanah. Dengan cara yang sama, bila tembok mengalami perputaran ke arah massa tanah, yaitu ke posisi A "B, massa

tanah segi tiga ABC" akan mencapai keadaan pasif menurut Rankine. Bidang geser BC".



Gambar 2.4 Tekanan tanah pasif menurut Rankine (Sumber: (Das, 1993)).

2.3. Turap

Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berfungsi kecuali untuk menahan tanah juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian. *Sheet pile* merupakan salah satu jenis *retaining wall*. Turap sendiri terbuat dari beberapa bahan yaitu baja, beton, kayu atau *sheet pile* dari plastik yang berhubungan satu sama lainnya membentuk sebuah dinding kontinu sepanjang tebing saluran karena pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah, turap banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan seperti: penahan tebing galian sementara, bangunan-bangunan di pelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain-lain (Hardiyatmo, 2002b). Dinding turap tidak cocok

untuk menahan tanah timbunan yang sangat tinggi karena akan memerlukan luas tampang bahan turap yang besar. Selain itu, dinding turap juga tidak cocok digunakan pada tanah yang mengandung banyak batuan-batuan, karena menyulitkan pemancangan.

(Sri Respati, 1995) dalam (Melinda & Jainta, 2015) menjelaskan bahwa turap adalah konstruksi yang dapat menahan tekanan tanah di sekelilingnya, mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari dinding turap dan penyangganya. Konstruksi dinding turap terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, serta membentuk formasi dinding menerus vertikal yang berguna untuk menahan timbunan tanah atau tanah yang berlereng. Turap terdiri dari bagian-bagian yang dibuat terlebih dahulu (*prefabricated*) atau dicetak terlebih dahulu (*pre-cast*).

2.3.1 Fungsi Turap

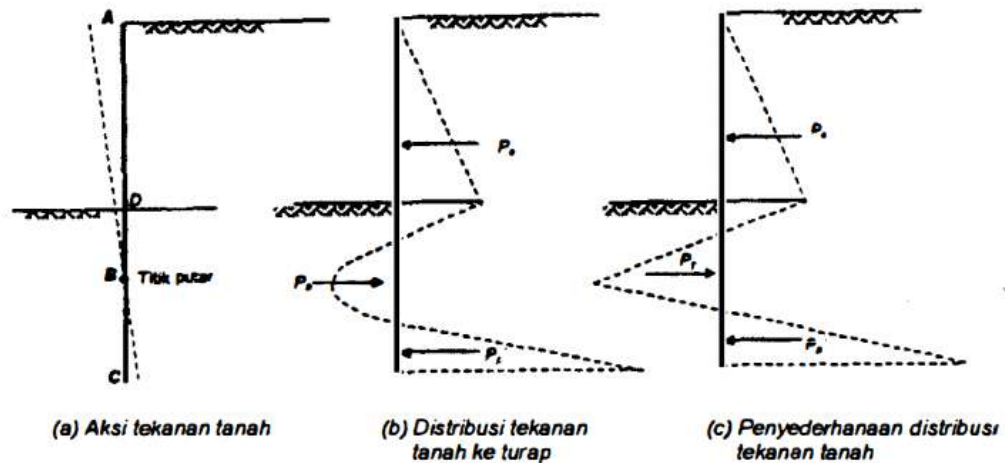
Menurut (Melinda & Jainta, 2015), turap berfungsi sebagai berikut:

1. Struktur penahan tanah, misalnya pada tebing jalan raya atau tebing sungai.
2. Struktur penahan tanah pada galian.
3. Struktur penahan tanah yang berlereng atau curam agar tanah tersebut tidak longsor.
4. Konstruksi bangunan yang ringan, saat kondisi tanah kurang mampu untuk mendukung dinding penahan tanah.

2.3.2 Tipe-Tipe Turap

2.3.2.1 Dinding Turap Kantilever

Dinding turap kantilever merupakan turap yang dalam menahan beban lateral mengandalkan tahanan tanah di depan dinding. Turap kantilever adalah dinding penahan tanah yang tidak menggunakan jangkar. Defleksi lateral yang terjadi relatif lebih besar pada pemakaian turap kantilever. Karena luas tampang bahan turap yang dibutuhkan bertambah besar dengan ketinggian tanah yang ditahan akibat momen lentur yang timbul, turap kantilever hanya cocok untuk menahan tanah dengan ketinggian sedang.

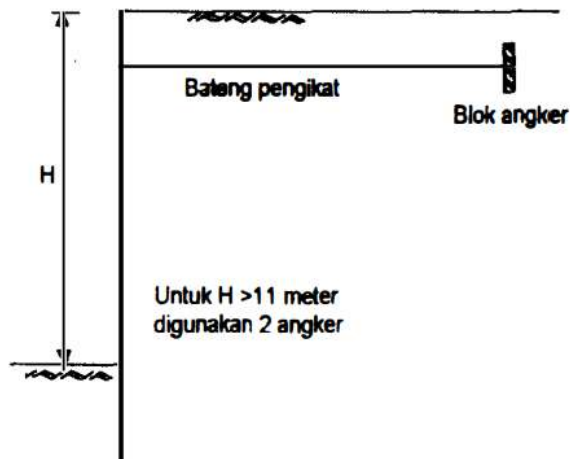


Gambar 2.5 Dinding Turap Kantilever (Sumber: (Hardiyatmo, 2002b).

Bekerjanya tekanan tanah pada dinding turap yang kaku sempurna diterangkan pada gambar di atas. Akibat pengaruh tekanan tanah aktif oleh tanah di belakang turap, turap berputar pada titik B (Gambar 2.5a). Gambar 2.5b menunjukkan distribusi tekanan tanah *netto* (tekanan tanah pasif dikurangi tekanan tanah pasif) pada turap, dan Gambar 2.5c adalah penyederhanaan dari Gambar 2.5b untuk maksud hitungan stabilitasnya.

2.3.2.2 Dinding Turap Diangker

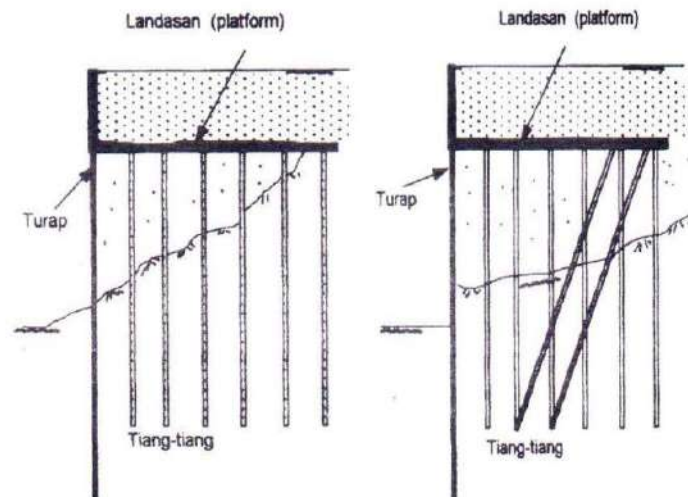
Dinding turap diangker cocok untuk menahan tebing galian yang dalam, tetapi masih juga bergantung pada kondisi tanah. Dinding turap ini menahan beban lateral dengan mengandalkan tahanan tanah pada bagian turap yang terpancang ke dalam tanah dengan dibantu oleh angker yang dipasang pada bagian atasnya. Kedalaman turap menembus tanah bergantung pada besarnya tekanan tanah Untuk dinding turap yang tinggi, diperlukan turap baja dengan kekuatan tinggi. Stabilitas dan tegangan-tegangan pada turap yang diangker bergantung pada banyak faktor, misalnya: kekuatan relatif bahan turap, kedalaman penetrasi turap, kemudah-mampatan tanah, kuat geser tanah, keluluhan angker dan lainnya.



Gambar 2.6 Dinding Turap Diangker (Sumber : (Bowles, 2005)).

2.3.2.3 Dinding Turap Dengan Landasan (*Platform*)

Dinding turap semacam ini dalam menahan tekanan lateral dibantu oleh tiang-tiang, di mana di atas tiang-tiang tersebut dibuat landasan untuk meletakkan bangunan. Tiang-tiang pendukung landasan juga berfungsi untuk mengurangi beban lateral pada turap. Dinding turap ini dibuat bila di dekat lokasi dinding turap direncanakan akan dibangun jalan kereta api, mesin derek, atau bangunan-bangunan berat lainnya.



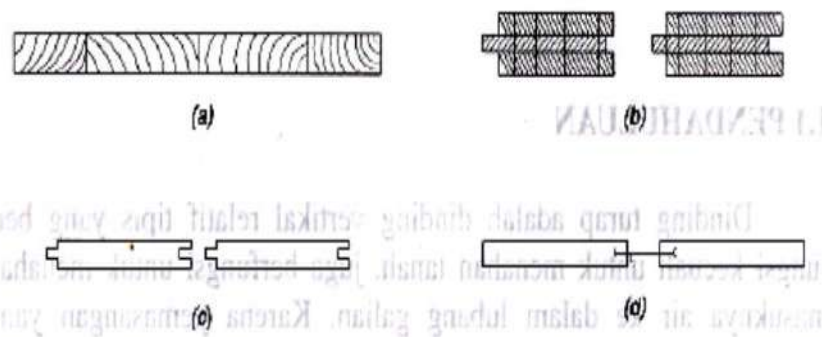
Gambar 2.7 Dinding Dinding turap dengan landasan yang didukung tiang-tiang (Sumber: (Bowles, 2005)).

2.3.3 Macam-macam Turap

Macam-macam turap dibedakan berdasarkan bahan yang digunakan yaitu kayu, beton, dan baja (Farid Fahlevi, 2019).

2.3.3.1 Turap Kayu

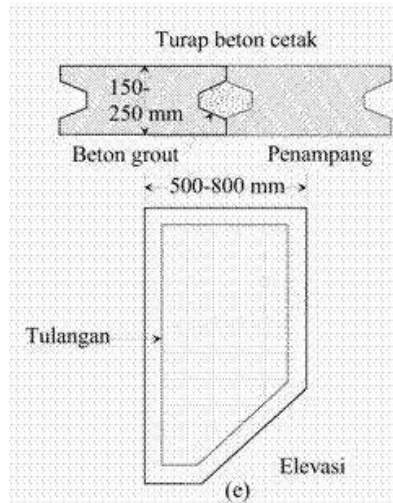
Turap kayu digunakan untuk dinding penahan tanah yang tidak begitu tinggi. Karena tidak kuat menahan beban-beban lateral yang besar. Turap kayu ini tidak cocok digunakan pada tanah yang berkerikil karena *sheet pile* cenderung retak bila dipancang (Pranata, 2010). Bila turap kayu digunakan untuk bangunan permanen yang berada di atas muka air, maka perlu diberikan lapisan pelindung agar tidak mudah lapuk. Turap kayu banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan sementara, misalnya untuk penahan tebing galian.



Gambar 2.8 Turap Kayu (Sumber: (Hardiyatmo, 2002b)).

2.3.3.2 Turap Beton

Turap beton yakni balok-balok beton yg sudah dicetak sebelum dipasang dengan wujud tertentu. Balok-balok *sheet pile* dibuat tukar mengkait satu sama lain. Jalan berlawanan balok, melainkan didesain berterima menyangga beban-beban yg bakal bekerja bagi saat pengangkatannya. Turap beton ini rata-rata difungsikan buat konstruksi berat yg didesain bersama tulangan bagi menyangga angkutan permanen sesudah konstruksi dan tambah pada menasihati tegangan yg dihasilkan sewaktu konstruksi. Penampang tiang-tiang ini yaitu kurang lebih 500-800 milimeter lebar dan tebal 150-120 milimeter. Penghabisan bawah plester rata-rata dibentuk memuncak buat menggampangkan pemancangan.



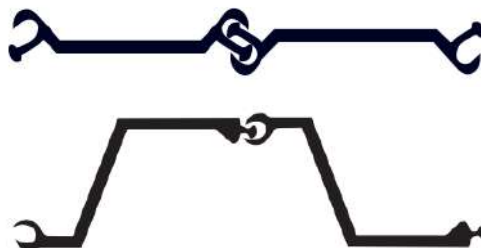
Gambar 2.9 Turap Beton (Sumber: (Das, 2007)).

2.3.3.3 Turap Baja (*Steel Sheet Pile*)

Turap Baja biasa digunakan pada bangunan permanen. Keuntungan dari dinding turap ini adalah lebih ringan, lebih mudah pelaksanaannya di lapangan serta hasilnya lebih baik. Sedangkan kerugiannya adalah adanya tenggang waktu pemesanan serta adanya bahaya korosi. Bahaya korosi pada konstruksi dapat dicegah dengan memberikan *catodic protection* (Anbya, 2015).

Menurut ((Nurtanti et al., 2013), keuntungan menggunakan turap baja antara lain:

1. Kuat menahan gaya-gaya benturan pada saat pemancangan.
2. Bahan turap relatif tidak begitu berat.
3. Dapat digunakan berulang-ulang.
4. Mempunyai keawetan yang tinggi.



Gambar 2.10 Turap Baja (Sumber : (Das, 2007))

Seiring dengan perkembangan waktu, semakin banyak bentuk untuk turap baja ini. Turap merupakan gabungan beberapa jenis *sheet pile* yang disusun seperti dinding. Turap baja adalah suatu konstruksi yang bertujuan untuk menahan tanah agar tidak longsor dan meninggikan lereng alam suatu tanah dan struktur konstruksi ini terbuat dari baja. Di lapangan, turap baja dapat ditemui pada saluran air di samping jalan, pada pinggir sungai, tebing sungai, pada bendungan dan saluran irigasi dan dinding penahan bukit agar tidak longsor.



Gambar 2.11 Dinding *Steel Sheet Pile*

Sheet pile sering digunakan untuk memenuhi kebutuhan untuk berbagai proyek besar. Hal ini juga dapat digunakan untuk bahan dasar bangunan yang terdapat di suatu area pelabuhan kapal ataupun dinding dermaga. Dalam perkembangannya terdapat beberapa bentuk dan desain sheet pile yang dapat dikombinasikan atau disebut dengan *Steel Combined Wall*.

a. *Tubular Pile*

Tubular Pile adalah jenis penumpukan yang sederhana. Struktur pipa baja pra-konstruksi didorong ke tanah atau di bawah air, biasanya dengan palu benturan besar. Tumpukan tetap di tempat terutama melalui gesekan dengan tanah. Semua ujung pipa harus dilengkapi dengan ujung polos. Desain tumpukan akan bervariasi tergantung pada kondisi dasar dan harapan dukungan, memungkinkan sistem tiang

untuk disesuaikan dengan kebutuhan spesifik. Karena pipa baja menumpuk dapat menanggapi beban yang sangat berat, dan baja yang benar dapat membuat mereka hampir tidak tahan terhadap kondisi lingkungan.



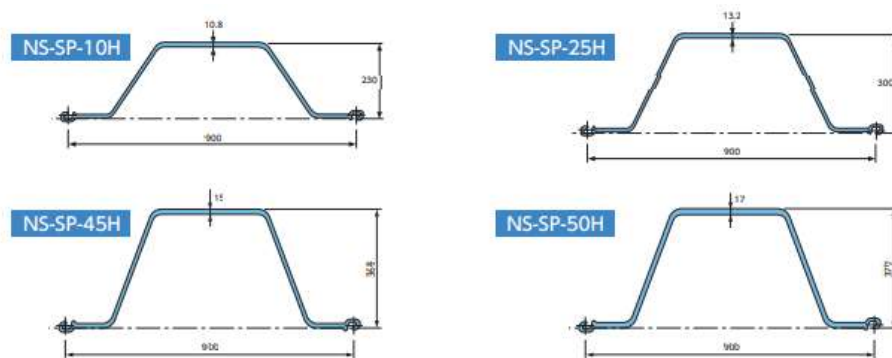
Gambar 2.12 Tubular Pile

Pipa penumpukan baja biasanya digunakan di pondasi dalam untuk mentransfer beban struktur ke formasi batuan atau ke kondisi tanah yang lebih kuat jauh di bawah tanah. Tumpukan Pipa juga digunakan bersamaan dengan tumpukan lembaran untuk menambahkan kekakuan lateral dan ketahanan lentur dimana perlu menanggung beban besar, tumpukan fondasi yang dalam mutlak diperlukan bila kondisi tanah dan lahan tidak sesuai untuk mendukung struktur yang akan dibangun. Keuntungan tubular pile adalah sebagai berikut:

1. Tumpukan Pipa Baja dapat disesuaikan dengan spesifikasi beban yang tepat, biaya juga dapat diminimalkan.
2. Tumpukan pipa akan mencegah pengeluaran uang ekstra untuk dukungan struktural, mereka lebih mudah dan lebih murah untuk dipasang dan mereka dapat diperiksa dan diuji keamanannya sebelum pemasangan.
3. Tumpukan Pipa Baja juga termasuk yang paling mudah untuk ditambahkan ke setelah konstruksi, dan mereka menderita beberapa biaya penggantian terendah, karena tidak rentan terhadap retak selama proses pemancangan.

b. Hat type Sheet Pile

Hat type sheet pile memiliki area penampang yang besar dari sheet pile tipe Hat mewujudkan kemampuan yang unggul. Tidak ada pengurangan yang diperlukan dalam sifat penampang untuk mempertimbangkan kemungkinan kurangnya transmisi gaya geser pada interlock, yang berlaku untuk tiang pancang baja tipe-U. Jumlah baja per unit dinding dapat dikurangi, menghasilkan peningkatan biaya total.



Gambar 2.13 Beberapa jenis Hat type sheet pile

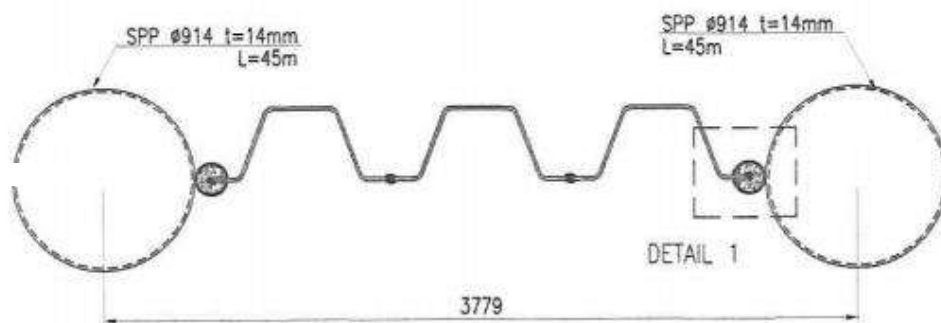
c. Turap dalam bentuk kombinasi (*Steel Combined Wall*)

Untuk desain dinding penahan baja, tiga kategori dapat dibedakan: Dinding tumpukan lembaran (*Sheet pile wall*). Dinding yang hanya terdiri dari tumpukan lembaran adalah mungkin untuk ketinggian penahan kecil dan kejadian rendah momen lentur. Dalam hal ini kombinasi tumpukan raja dan tumpukan lembaran menengah disarankan karena kekuatan dan kekakuannya yang lebih tinggi.. Dinding berbentuk tabung, bila diperlukan kekuatan dan kekakuan tidak dapat dicapai dengan gabungan tubular dinding, dinding tabung adalah solusi yang direkomendasikan.

Combined Wall adalah dinding tiang yang terdiri dari komponen struktural modulus tinggi yang diselingi oleh tumpukan lembaran yang lebih ringan. Komponen modulus tinggi dikenal sebagai *king pile* dapat berbentuk tabung, kotak, bantalan atau jenis tiang pancang lainnya. Sangat penting bahwa kerangka templat penggerak tiang yang stabil, berat, cukup kaku dan lurus, disesuaikan dengan kebutuhan panjang dan berat tiang pancang harus disediakan. Tumpukan raja dipasang pada posisinya di dalam templat menggunakan pemandu braket yang dilas

yang memperhitungkan: toleransi lebar akun. Memancang *king pile* harus dilakukan dengan sangat hati-hati untuk memastikan bahwa tiang pancang tertanam lurus dan vertikal, sehingga menjamin bahwa mereka sejajar satu sama lain dan pada jarak yang diperlukan. Urutan pemancangan tiang pancang harus memastikan bahwa ujung tiang pancang bertemu dengan tanah secara total keliling dan tidak hanya pada satu sisi. Dinding ini terdiri dari tiga elemen berikut:

1. Tabung sebagai king pile
2. Tumpukan sheet pile
3. Interlock (C6 atau C9)



Gambar 2.14 *combined wall tubular pile with Hat type sheet pile* (Sumber : (ArcelorMittal SheetPile, n.d.))

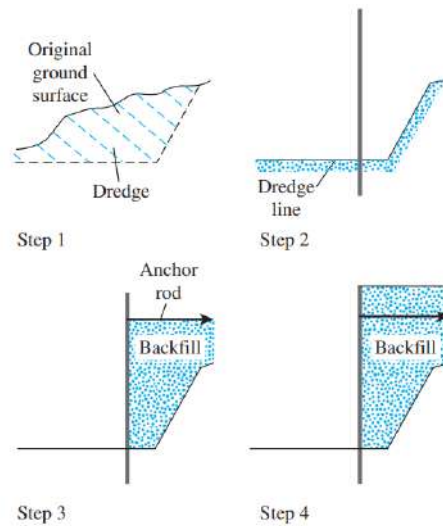
Sistem yang ditampilkan hanya mewakili Sebagian dari variasi yang mungkin. Lembar menengah tiang berfungsi sebagai penahan tanah dan untuk beban transfer. Tumpukan lembaran hanya diperlukan untuk menahan tekanan bumi aktif turun ke bumi nol tingkat tekanan dan dapat meluas di bawah tingkat ini sebagai tindakan keamanan. Memperpendek panjang tumpukan lembaran perantara akan mengurangi biaya pekerjaan dan memfasilitasi instalasi.

2.3.4 Metode Konstruksi Turap Kantilever

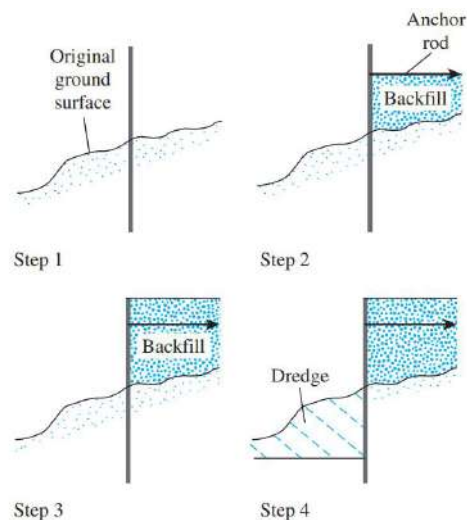
Dalam metode konstruksi tiang turap terdapat beberapa cara, yaitu pertama dengan meletakkannya di dalam tanah yang terlebih dahulu digali lalu kemudian diisi kembali dengan tanah isian, dan yang kedua dengan memancangkannya ke dalam tanah, kemudian tanah di depannya digali. Atau dalam hal konstruksi

dermaga, tiang turap dipancangkan dalam air hingga mencapai tanah, kemudian tanah isian diberikan di belakangnya.

Dalam banyak kasus tanah isian yang diletakkan di belakang dinding turap biasanya adalah tanah granular. Sementara tanah di bawah garis penggalian bisa tanah pasir atau lempung. Permukaan tanah pada sebelah di mana air berada biasanya diacu sebagai garis galian (*dredge line*). Berdasarkan hal ini terdapat dua macam metode konstruksi turap, yaitu struktur urugan (*backfilled structure*) dan struktur galian (*dredged structure*).



Gambar 2.15 Struktur Urugan (*backfilled structure*).



Gambar 2.16 Struktur Galian (*dredged structure*)

(Sumber : (Das, 2007)).

2.3.4.1 Turap Kantilever Pada Pasir

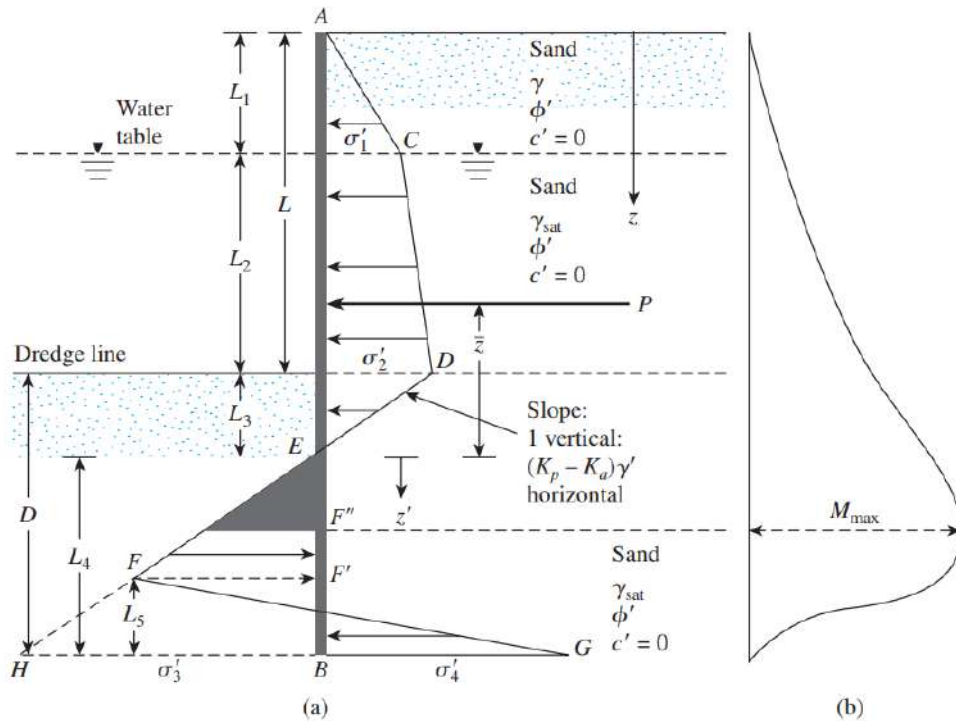
Untuk mengembangkan hubungan kedalaman penanaman tiang turap yang dibutuhkan di dalam tanah granular perhatikanlah Gambar 2.16(a). Tanah yang akan ditahan oleh dinding turap, berada di atas garis galian, adalah juga tanah granular. Permukaan air tanah berada pada kedalaman L_1 dari puncak tiang. Ambillah sudut gesek pasir sebagai ϕ . Intensitas tekanan aktif pada kedalaman $z=L_1$ dapat dinyatakan sebagai:

$$p_1 = \gamma L_1 K_a$$

di mana:

$$K_a = \text{koefisien tekanan aktif Rankine} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

γ = berat isi tanah di atas permukaan air



Gambar 2.17 Tiang turap kantilever tertanam dalam pasir (a) Variasi diagram tekanan bersih (b) Variasi momen (Sumber : (Das, 2007)).

Dengan cara yang sama, tekanan aktif pada kedalaman $z = L_1 + L_2$ (yaitu pada kedalaman muka galian adalah sama dengan:

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma L_2) K_a$$

Pada kedalaman garis galian, tekanan hidrostatik dari kedua arah dinding adalah sama dan oleh karena itu akan saling menghilangkan. Untuk menentukan tekanan tanah bersih di bawah garis galian hingga pada titik rotasi O, haruslah dipertimbangkan bahwa tekanan pasif bekerja dari sebelah kiri (sebelah air) ke arah sebelah kanan (sebelah tanah) dan juga tekanan aktif bekerja dari sebelah kanan ke sebelah kiri dinding. Kemiringan (*slope*) garis distribusi tekanan bersih DEF adalah 1 vertikal dengan ($K_p - K_a$) horizontal. Maka tekanan lateral bersih pada dasar turap adalah sama dengan:

$$\begin{aligned} P_p - P_a = P_4 &= (\gamma L_1 + \gamma L_2)K_p + \gamma D(K_p - K_a) \\ &= (\gamma L_1 + \gamma L_2)K_p + \gamma L_3(K_p - K_a) + \gamma L_4(K_p + K_a) \\ &= p_5 + L_4(K_p + K_a) \end{aligned}$$

di mana:

$$\begin{aligned} p_5 &= (\gamma L_1 + \gamma L_2)K_p + \gamma L_3(K_p - K_a) \\ D &= L_3 + L_4 \end{aligned}$$

Untuk kestabilan turap, prinsip statika sekarang dapat digunakan,

$$\sum \text{ gaya - gaya horizontal per satuan panjang dinding} = 0$$

dan

$$\sum \text{ Momen per satuan panjang dinding pada titik B} = 0$$

Jumlah dari seluruh gaya-gaya horizontal adalah Luas ACDE pada diagram tekanan - luas EFHB + luas FHBG = 0. Maka didapatkan

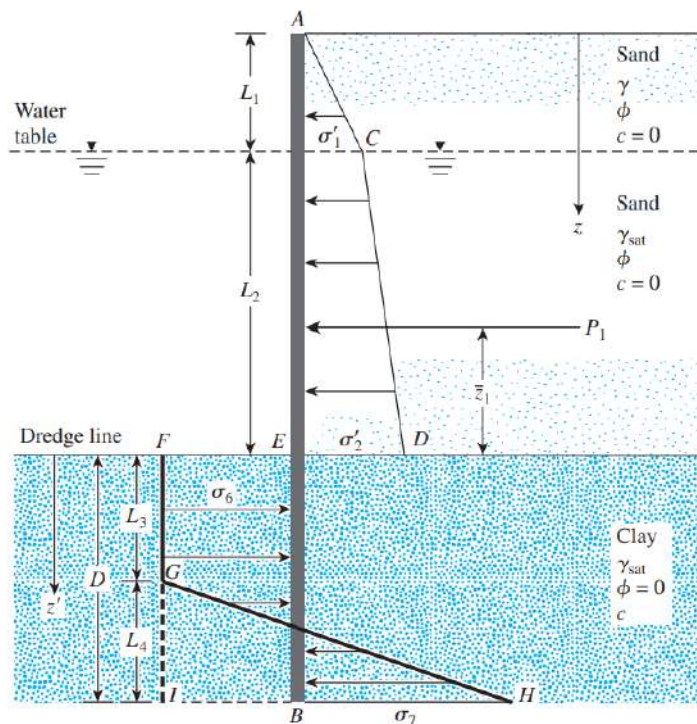
$$L_4^4 + AL_4^3 - A_2L_4^2 - A_3L_4 = 0$$

di mana:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_5}{\gamma(K_p - K_a)} \\ A_2 &= \frac{8p}{\gamma(K_p - K_a)} \\ A_3 &= \frac{6P[2z\gamma(K_p - K_a) + p_5]}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} \\ A_4 &= \frac{P(6zp_5 + 4P)}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} \end{aligned}$$

2.3.4.2 Turap Kantilever Dengan Lempung

Dalam beberapa kasus, tiang turap kantilever harus disorongkan ke dalam lapisan lempung yang mempunyai kohesi tak salur (*undrained cohesion*), c (konsep $\phi = 0$). Diagram tekanan bersih akan agak berbeda dari pada yang diperlihatkan pada Gambar 2.16(a). Gambar 2.17 memperlihatkan sebuah dinding turap yang disorongkan ke dalam lempung dengan bahan isian di belakang turap adalah tanah granular yang terletak di atas garis galian. Misalkanlah permukaan air terletak pada kedalaman L_1 di bawah puncak turap.



Gambar 2.18 Turap kantilever pada lempung (Sumber: (Das, 2007)).

Pada kedalaman z yang lebih besar dari L_1 dan L_2 dan di atas titik rotasi, tekanan aktif (p_a) dari kanan pasif (p_p) dari kiri kanan dapat dinyatakan dengan:

$$p_a = [\gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma_{sat}(z - L_1 - L_2)] K_a - 2c \sqrt{K_a}$$

Di mana K_p = Koefisien tekanan tanah pasif Rankine; dengan $\phi = 0$, besarnya akan menjadi nol.

Maka, tekanan bersih menjadi

$$\begin{aligned}
p_6 = p_p - p_a &= [\gamma_{sat} (z - L_1 - L_2) + 2c] - [\gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma_{sat} (z - L_1 - L_2)] \\
&+ 2c \\
&= 4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)
\end{aligned}$$

Pada dasar turap, tekanan pasif dari kanan ke kiri adalah:

$$p_p = (\gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma_{sat} D) + 2c$$

Dengan cara yang sama, tekanan aktif dari kiri ke kanan adalah:

$$p_a = \gamma_{sat} D - 2c$$

Maka tekanan bersih menjadi,

$$p_7 = p_p - p_a = 4c + (\gamma L_1 + \gamma L_2)$$

Untuk analisis keseimbangan $\sum F_h = 0$ (yaitu luas diagram tekanan ACDE – luas EIFIB + luas GIH = 0), atau

$$P_1 - [4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)D] + \frac{1}{2}L_4[4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2) + 4c + (\gamma L_1 + \gamma L_2)] = 0$$

Di mana P_1 = luas diagram tekanan ACDE.

Dengan menyederhanakan persamaan sebelumnya maka diperoleh:

$$L_4 = \frac{D[4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)] - P_1}{4c}$$

Sekarang ambillah momen dititik B, $\sum M_b = 0$, atau

$$P_1(D + z_1) - [4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)] \frac{D^2}{2} + \frac{1}{2}L_4(8c) \left(\frac{L_4}{3}\right) = 0$$

Di mana, z_1 = jarak dari pusat tekanan pada diagram ACDE diukur dari permukaan garis galian. Maka didapatkan,

$$D^2[4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)] - 2DP_1 - \frac{P_1(P_1 + 12cz_1)}{(\gamma L_1 + \gamma L_2) + 2c}$$

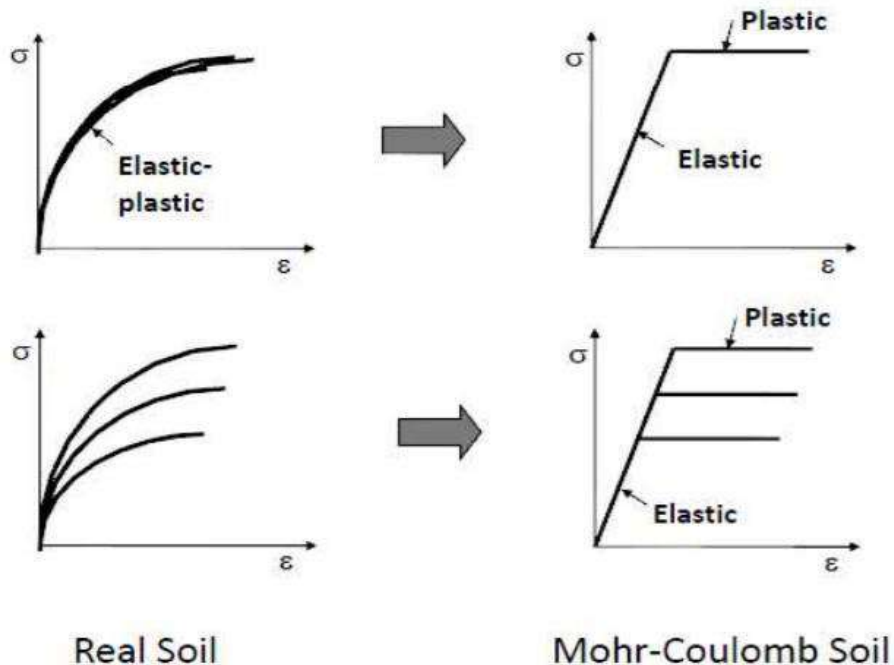
Dengan menyelesaikan persamaan di atas maka akan diperoleh nilai D , yaitu kedalaman penetrasi ke dalam lapisan lempung yang dibutuhkan oleh turap.

2.4. Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai problem rekayasa, seperti mekanika struktur, mekanika tanah, mekanika batuan, mekanika fluida, hidrodinamik, aerodinamik, medan magnet, perpindahan panas, dinamika struktur, mekanika

nuklir, aeronautika, akustik, mekanika kedokteran dan sebagainya (Sebayang, 2014).

Tujuan utama analisis dengan menggunakan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh pendekatan tegangan dan peralihan (*displacement*) yang terjadi pada suatu struktur. Pemodelan Mohr Coulomb menggunakan pendekatan yang mendekati perilaku mekanis pada tanah.



Gambar 2.19 Pemodelan Mohr Coloumb

Pada pemodelan Mohr Coulomb setiap lapisan diperkirakan memiliki kekakuan rata rata yang konstan, akibat kekakuan yang konstan perhitungan dalam program akan lebih cepat dan dapat menghasilkan perkiraan deformasi dari perhitungan tersebut. Untuk model lainnya tidak dibahas dalam penelitian ini karena tidak digunakan dalam analisa.

2.4.1 Matriks Kekakuan Elemen

Memodelkan suatu elemen dan memberikan beban, diperlukan persamaan yang menghubungkan antara beban berupa gaya dan momen yang diberikan pada nodal elemen dengan perpindahan berupa translasi dan rotasi pada nodal tersebut. Hubungan tersebut dapat diberikan dengan persamaan:

$$\{F\} = [K]\{u\}$$

di mana:

$\{F\}$ = matriks kolom gaya dan momen pada nodal elemen.

$[K]$ = matriks kekakuan elemen.

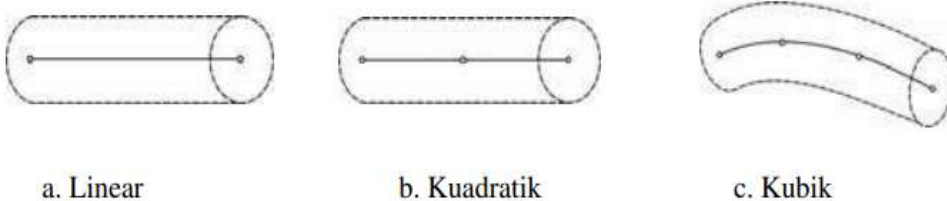
$\{u\}$ = matriks kolom berisi perpindahan translasi dan rotasi nodal elemen.

2.4.2 Tipe – Tipe Elemen Dalam Metode Elemen Hingga

Terdapat berbagai tipe bentuk elemen dalam metode elemen hingga yang dapat digunakan untuk memodelkan kasus yang akan dianalisis, yaitu:

2.4.2.1 Elemen satu dimensi

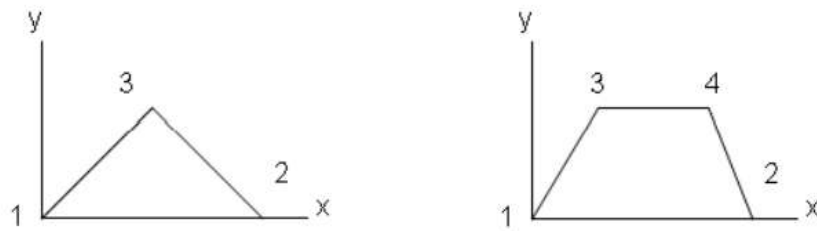
Elemen satu dimensi terdiri dari garis (*line*). Tipe elemen ini memiliki dua titik nodal, masing-masing pada ujungnya, disebut elemen garis linier. Dua elemen lainnya dengan orde yang lebih tinggi, yang umum digunakan adalah elemen garis kuadratik dengan tiga titik nodal dan elemen garis kubik dengan empat buah titik nodal.



Gambar 2.20 Elemen satu dimensi

2.4.2.2 Elemen dua dimensi

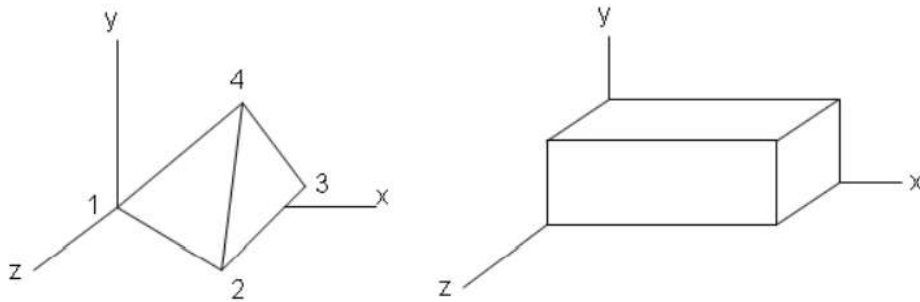
Elemen dua dimensi terdiri dari elemen segitiga (*triangle*) dan elemen segi empat (*quadrilateral*). Elemen orde linier pada masing-masing tipe ini memiliki sisi berupa garis lurus, sedangkan untuk elemen dengan orde yang lebih tinggi dapat memiliki sisi berupa garis lurus, sisi yang berbentuk kurva ataupun dapat pula berupa kedua-duanya.



Gambar 2.21 Elemen dua dimensi segi tiga dan segi empat

2.4.2.3 Elemen tiga dimensi

Elemen tiga dimensi terdiri dari elemen tetrahedron, dan elemen balok.

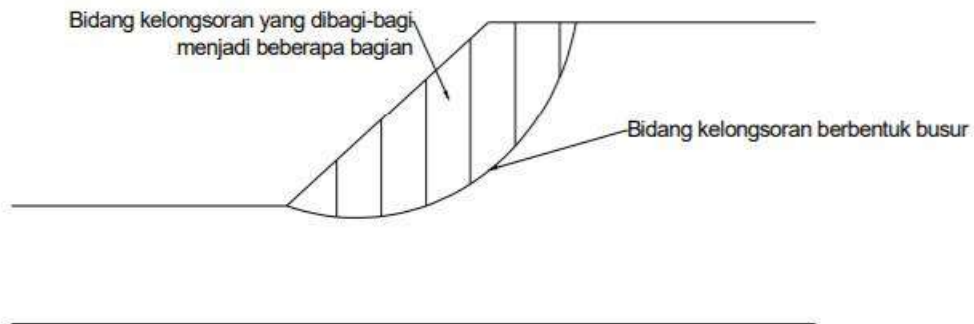


Gambar 2.22 Elemen tiga dimensi tetrahedra dan balok

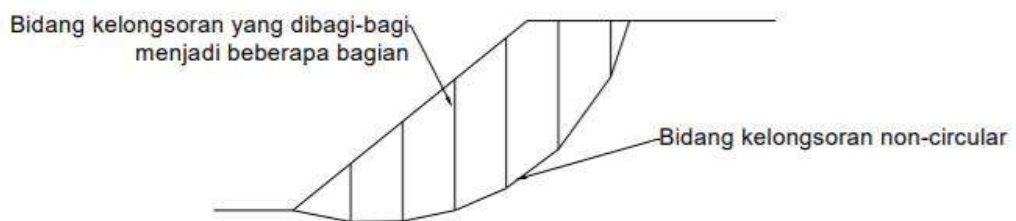
2.5. Metode Limit Equilibrium (LEM)

Metode Limit Equilibrium adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, metode ini juga dikenal dengan metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa bagian. Dalam Metode Limit Equilibrium terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu bidang kelongsorannya yang diasumsikan berbentuk circular dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk non-circular. Pada metode kesetimbangan batas dengan asumsi bidang kelongsoran berbentuk circular.

Secara manual perhitungan menggunakan metode Limit Equilibrium dimulai dengan menentukan sebuah titik yang akan digunakan sebagai titik pusat untuk mengasumsikan bidang kelongsoran dan titik pusat itu juga sebagai pusat dari gaya moment yang diasumsikan bekerja disepanjang bidang kelongsoran.



Gambar 2.23 Metode *Limit Equilibrium Circular*



Gambar 2. 24 Metode Limit Equilibrium Non-Circular

Pada metode kesetimbangan batas, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regang pada lereng. Asumsi lainnya, yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks faktor keamanan (FK). Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut, tergantung metode perhitungan yang dipakai. Terdapat dua tipe longsor yang dapat dianalisis menggunakan metode ini, yaitu tipe longsor translational dan tipe longsor rotasional.

Tipe longsor translational merupakan metode kesetimbangan batas yang telah digunakan secara luas dalam analisis kestabilan lereng yang dikontrol oleh adanya bidang tak menerus yang berupa bidang planar atau baji yang dihasilkan oleh perpotongan dua buah bidang planar. Longsor diasumsikan terjadi sepanjang bidang planar dan diasumsikan blok massa tidak mengalami rotasi.

Faktor keamanan lereng dihitung dengan membandingkan gaya penahan dengan gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh.

Tipe longsor rotasional merupakan metode kesetimbangan batas untuk lereng tanah atau batuan lemah, longsor terjadi karena gaya penahan di sepanjang bidang runtuh tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja. Biasanya bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran atau berupa bidang lengkung. Metode kesetimbangan batas cocok untuk tipe longsor tersebut.

2.6. Penelitian Terdahulu

2.6.1 Studi Perencanaan Desain Turap Baja Dengan metode Finite Element Di Bantaran Sungai Jelarai Tanjung Selor (Anbya, 2015)

Dalam penelitian ini dibahas perencanaan struktur sheet pile yang memenuhi syarat kekuatan (strength) dan berkelanjutan (sustainable). Untuk syarat kekuatan, diperlukan kontrol faktor keamanan, perpindahan tanah, lendutan sheet pile, tegangan tanah rata-rata, dan momen lentur sheet pile. Sedangkan untuk syarat berkelanjutan diperlukan kontrol penanaman vegetasi dan penggunaan material-material yang ramah lingkungan. Perbaikan bantaran yang direncanakan meliputi pemasangan sheet pile, pemasangan lapisan kontrol erosi yaitu riprap, dan penanaman tanaman yang sesuai dengan komoditi yang mudah ditemukan di Kabupaten Bulungan. Pada penelitian kali ini, perangkat lunak yang digunakan adalah Plaxis yang terkenal sebagai perangkat lunak yang mampu memberikan output visual yang mudah sehingga analisa selanjutnya bisa terlaksana dengan mudah pula. Dalam beberapa literatur terdahulu tentang analisa stabilitas sheet pile, kebanyakan analisa hanya menggunakan cara perhitungan manual sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk trial-error metode-metode yang telah lama dipergunakan untuk analisa stabilitas sheet pile. Sehingga dengan dipergunakannya dua perangkat lunak terbaru kali ini akan mendapatkan hasil analisa yang akurat.

2.6.2 Analisa Tegangan Perpindahan Dan Faktor Keamanan (SF) Pada Lereng Miring Dengan Perkuatan *Sheet Pile* Menggunakan Program *Geostructural Analysis Versi 19* (Fauzi, 2012)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh panjang *sheet pile* terhadap faktor keamanan (SF) dan untuk mengetahui faktor kemiringan lereng terhadap nilai faktor keamanan (SF). Dari analisa yang dilakukan didapatkan nilai faktor keamanan (SF) lereng mengalami peningkatan seiring dengan penambahan panjang *sheet pile* dan nilai faktor keamanan (SF) mengalami penurunan seiring dengan penambahan sudut kemiringan lereng.

2.6.3 Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) (Hamdhan & Pratiwi, 2017)

Penanganan yang dipilih, yaitu dengan pemasangan perkuatan lereng berupa boredpile dan dinding penahan tanah. Dimensi boredpile yang digunakan yaitu berdiameter 80 cm. Analisis dilakukan dengan menggunakan Program Plaxis 2D yang berbasis metode elemen hingga, dengan memodelkan 2 (dua) kondisi yaitu kondisi eksisting dan kondisi dengan perkuatan. Analisis pada kondisi eksisting dilakukan dengan cara back analysis, sehingga hasil analisis kondisi eksisting sesuai dengan kejadian di lapangan. Analisis dilakukan di 6 (enam) titik untuk Km. 91+200 dan 2 (dua) titik untuk Km. 92+600. Dari hasil analisis didapat bahwa dengan adanya perkuatan pada lereng yang terjadi kelongsoran, nilai faktor keamanan naik hingga 242.2% dari kondisi eksisting.

2.6.4 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium) dan Elemen Hingga (Finite Element) (Wulandari, 2017)

Penelitian ini membandingkan analisis statik, statik ekuivalen dan analisis dinamik pada suatu model timbunan dan galian pada kelas tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak sesuai dengan RSNI-3-1726-2010 dengan kedalaman tanah keras 30m dan 100m. Gempa yang diaplikasikan adalah gempa srike-slip, dengan percepatan gempa pada tanah dasar 0,1g- 0,4g. Penelitian ini juga menghitung faktor reduksi pada model timbunan dan galian yang dapat digunakan untuk analisis

statik ekuivalen sehingga faktor reduksi yang dihasilkan mendekati faktor reduksi dengan cara dinamik. Hasil penelitian berupa faktor keamanan statik dengan berbagai metode analisis, faktor keamanan akibat gempa dengan metode statik ekuivalen dan metode dinamik serta nilai faktor reduksi akibat percepatan gempa 0,3g pada kasus timbunan dan galian.

BAB 3

METODE PENELITIAN

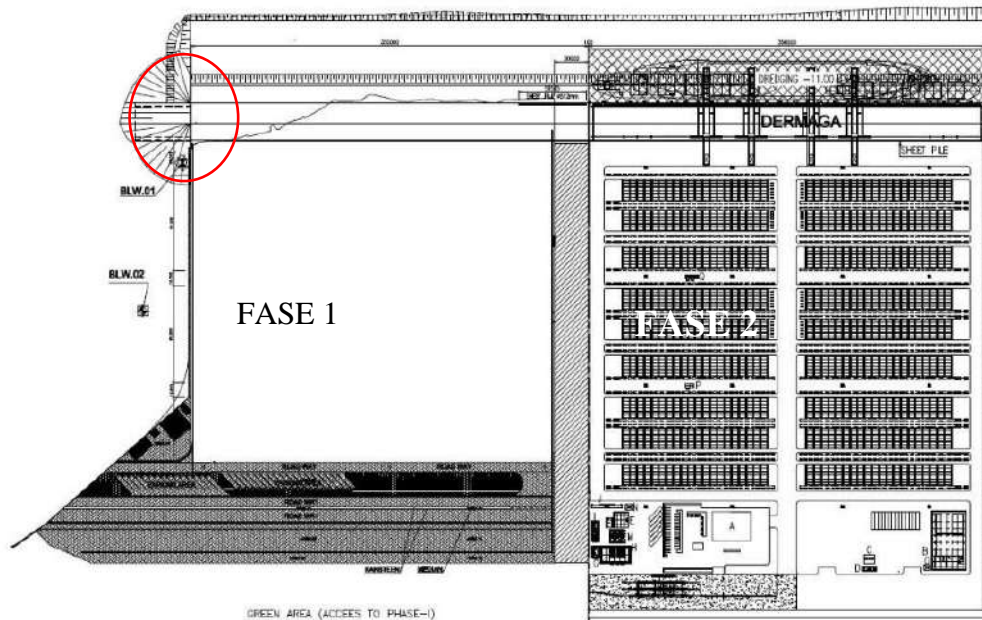
3.1 Informasi Proyek

Nama Proyek	: Pemasangan Sheet Pile Belawan Fase 1
Lokasi Proyek	: Area Reklamasi Pelabuhan Belawan Fase 1, Belawan, Sumatera Utara, Indonesia.
Pemberi Tugas	: PT. Pelabuhan Indonesia I (Persero)
Konsultan MK	: PT. Atrya Swascripta Rekayasa
Kontraktor Pelaksana	: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk.
Waktu Pelaksanaan	: 290 Hari Kalender
Waktu Pemeliharaan	: 180 Hari Kalender



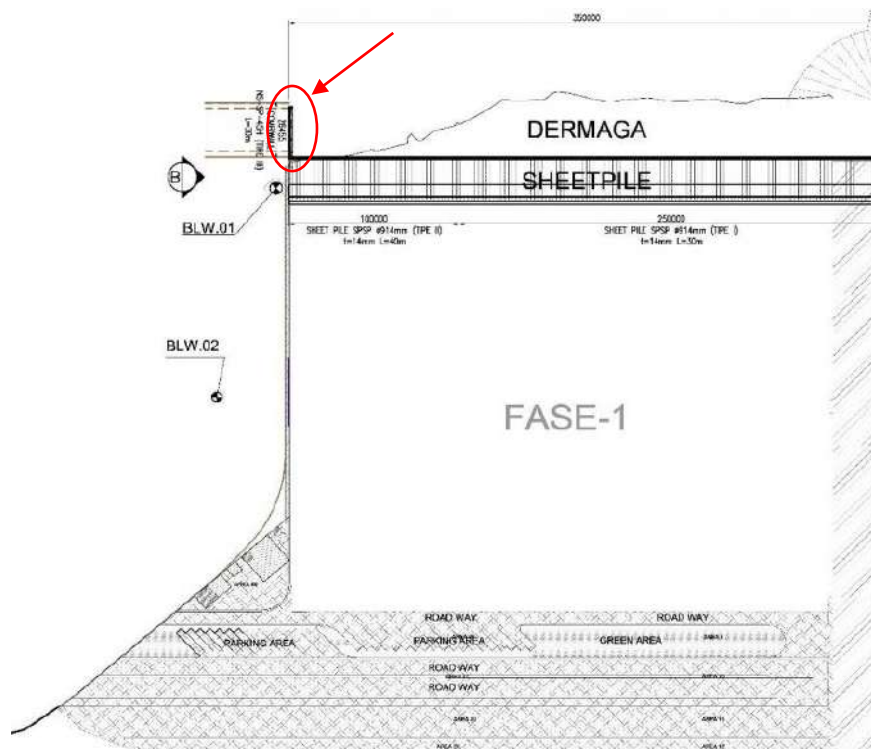
Gambar 3. 1 Lokasi Proyek

Proyek pemasangan sheet pile dilakukan pada area reklamasi. Reklamasi ini sudah selesai sejak tahun 2017, area reklamasi dibagi menjadi 2 fase yaitu Fase 1 dan Fase 2. Area Fase 2 telah dibangun terminal petikemas lengkap dengan fasilitas dermaga dan kantor pelayanannya. Kemudian saat ini juga akan dibangun terminal petikemas pada area Fase 1. Untuk tahap pertama yang dilakukan adalah membuat proteksi untuk tanah agar tidak longsor ketika diberi beban dari atas dan pekerjaan itu adalah pemasangan sheet pile pada tepian area reklamasi fase 1 tersebut.



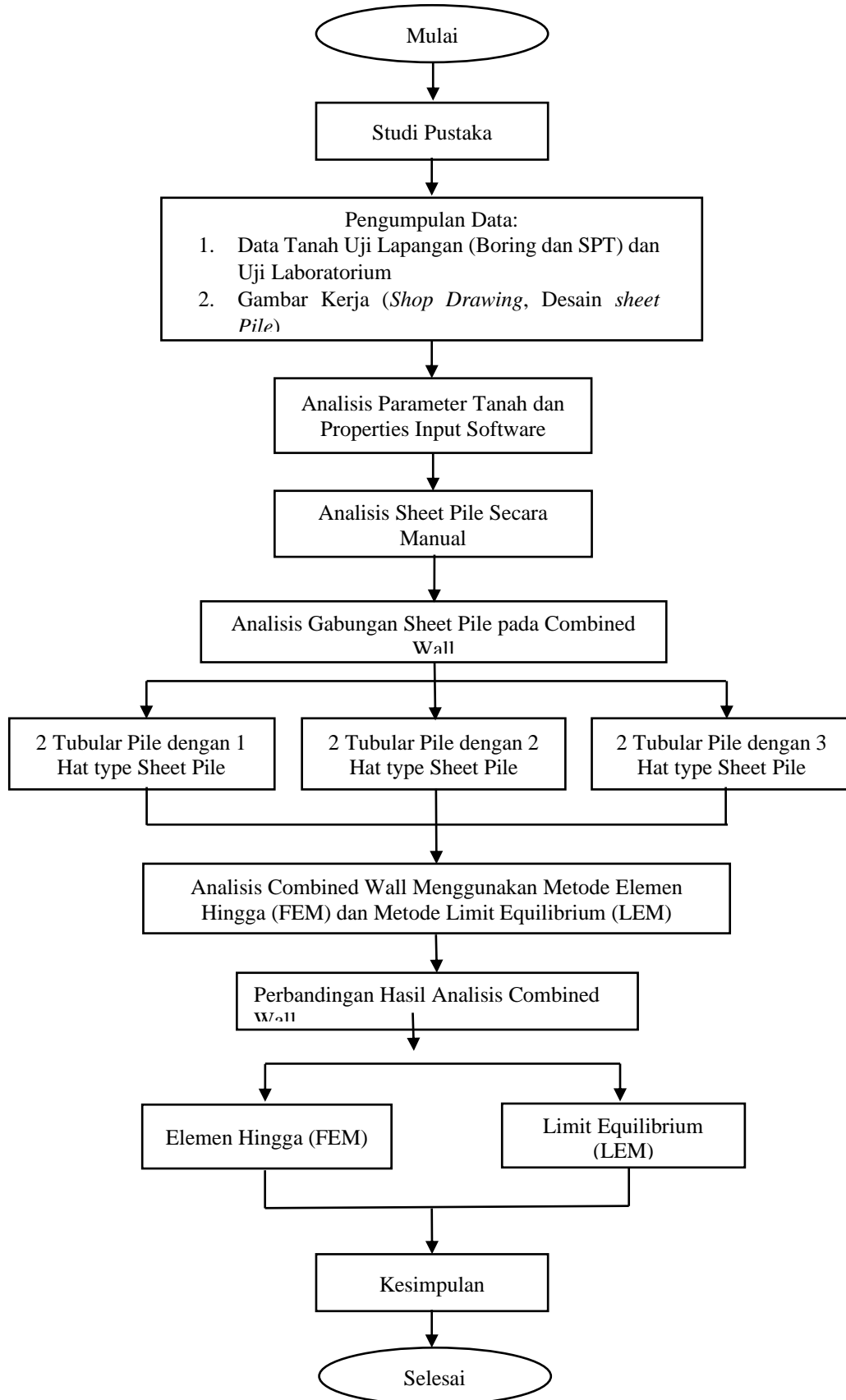
Gambar 3. 2 Layout Fase 1 dan 2

Sheet Pile yang akan dipasang terbagi atas 3 tipe yaitu Sheet pile tipe SPSP (*Steel Pipe Sheet Pile*) 914 T14 mm dengan panjang total 30 m dan 40 m, serta tipe combined wall yang terdiri dari NS-SP-45H dengan panjang 30 m dan SPP (*Steel Pipe Pile*) 914 T14 mm panjang 45 m. Sesuai dengan judul penelitian ini akan membahas tentang tipe *combined wall*.



Gambar 3. 3 Layout Sheet Pile Fase 1

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

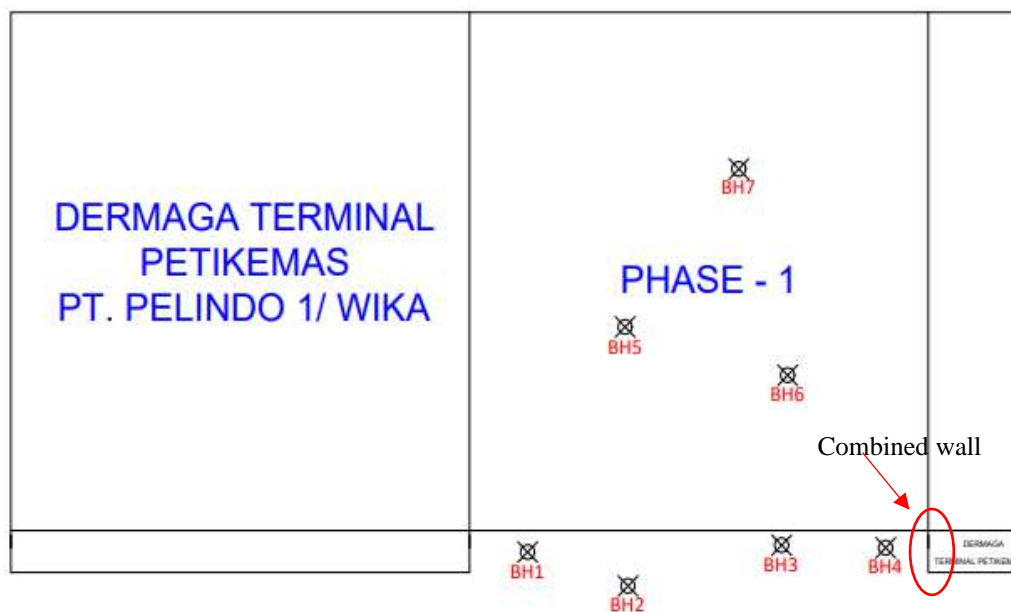
3.3 Parameter Desain

3.3.1 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 3. 5 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 ± 40.50 m dari permukaan tanah sedangkan

pada BH-2 ditemukan tanah keras pada kedalaman tanah dengan total ± 62.00 s/d 64.00 m dari permukaan tanah dengan total 60 x pukulan.

Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Bor Mesin BH-1 (Laut)

No.	Kedalaman (m)	Deskripsi	Nilai SPT
1.	0.00 – 6.00	Pasir bercampur lempung, abu-abu cerah, kepadatan rendah	5 s/d 6
2.	6.00 – 22.00	Pasir sedang bercampur kulit kerang dan batu apung, abu-abu cerah,, tidak berplastis, kepadatan padat.	8 s/d 20
3.	22.00 – 40.00	Lempung lunak, coklat keabu-abuan, berplastis sedang, kekakuan lunak ke kaku.	5 s/d 16

Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Bor Mesin BH-2 (Laut)

No.	Kedalaman (m)	Deskripsi	Nilai SPT
1.	0.00 – 13.00	Pasir sedang bercampur kulit kerang, abu-abu cerah, tidak berplastis, kepadatan padat.	5 s/d 17
2.	13.00 – 22.00	Pasir bercampur sedikit lempung, abu-abu cerah, tidak berplastis, kepadatan padat ke sangat padat.	14 s/d 49
3.	22.00 – 45.00	Lempung lunak, coklat ke abu-abuan, berplastis sedang, kekakuan lunak ke kaku.	5 s/d 14
4.	45.00 – 51.00	Lempung berpasir, coklat keabu-abuan, berplastis sedang, kekakuan kaku ke keras.	12 s/d 18
5.	51.00 – 64.00	Lempung kaku, coklat ke abu-abuan, berplastis sedang ke rendah, kekakuan kaku ke keras	20 s/d 62

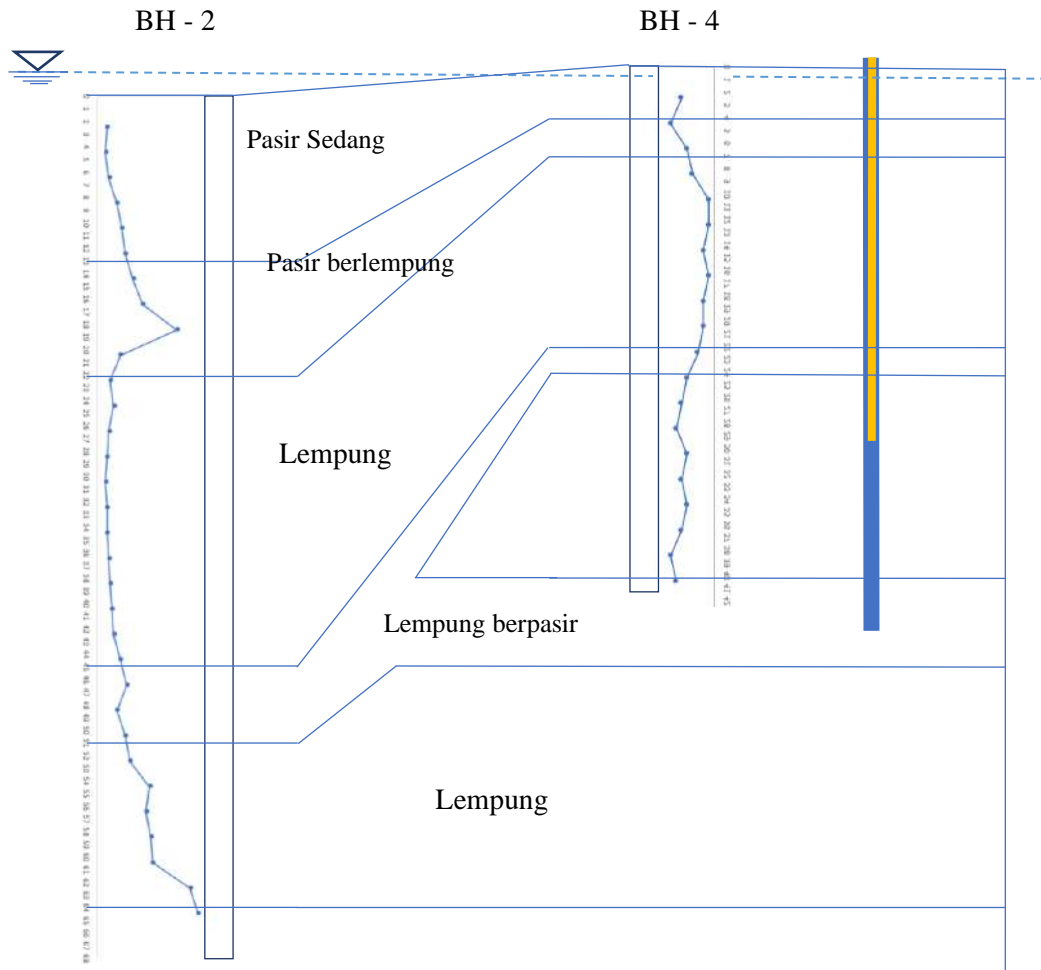
Tabel 3. 3 Hasil Pengujian Bor Mesin BH-3 (Laut)

No.	Kedalaman (m)	Deskripsi	Nilai SPT
1.	0.00 – 15.00	Pasir sedang bercampur batu apung, abu-abu cerah, tidak berplastis, kepadatan rendah ke padat.	7 s/d 18
2.	15.00 – 24.00	Pasir berlempung bercampur kulit kerang, abu-abu cerah, berplastis rendah, kepadatan padat	17 s/d 21
3.	24.00 – 40.00	Lempung lunak, coklat ke abu-abuan, berplastis sedang, kekakuan lunak	6 s/d 14

Tabel 3. 4 Hasil Pengujian Bor Mesin BH-4 (Laut)

No.	Kedalaman (m)	Deskripsi	Nilai SPT
1.	0.00 – 4.00	Pasir sedang, abu-abu cerah, tidak berplastis, kepadatan rendah.	6
2.	4.00 – 7.00	Pasir berlempung, abu-abu cerah, berplastis rendah, kepadatan rendah	5 s/d 8
3.	7.00 – 22.00	Lempung lunak, coklat ke abu-abuan, berplastis rendah, kekakuan sangat lunak	1 s/d 4
4.	22.00 – 24.00	Lempung lunak bercampur sedikit pasir, coklat keabu-abuan, berplastis rendah, kekakuan sangat lunak ke lunak	3
5.	24.00 – 40.00	Lempung lunak, coklat keabu-abuan, berplastis rendah ke sedang, kekakuan sangat lunak ke lunak.	5 s/d 8

Posisi combined wall berjarak ± 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 ± 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. 6 Stratifikasi Tanah Berdasarkan 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 Iapisan 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.

3.3.2 Parameter Tanah

Parameter tanah digunakan untuk mendeskripsikan sifat-sifat tanah dan perilaku karakteristik tanah. Setelah mendapatkan stratifikasi yang mewakili daerah kajian, maka selanjutnya data-data yang menjelaskan properties dari tiap-tiap strata dalam stratifikasi tersebut, baik itu *soil properties* (kohesi (c), sudut geser (ϕ), berat isi (γ) tanah, *water content* (w), *void ratio*(e)), maupun *engineering properties* (*triaxial test, unconfined test, dan consolidation test*).

Tabel 3. 5 Tabel Parameter Tanah (*Soil Properties*)

	Depth	Moisture Content, W (%)	Spesific Gravity, Gs	Wet Density, γ (kN/m ³)	Void Ratio, e	Porosity, n
BH-2	5.00 - 5.50	27.55	2.62	14.63	1.24	0.55
	9.50 - 10.00	19.4	2.62	15.29	1.01	0.50
	15.00 - 15.50	21.16	2.58	18.46	0.66	0.40
	19.50 - 20.00	17.38	2.62	16.20	0.86	0.46
	25.00 - 25.50	43.1	2.43	14.25	1.39	0.58
	29.50 - 30.00	48.67	2.42	14.59	1.41	0.59
	35.00 - 35.50	48.7	2.42	14.12	1.49	0.60
	39.50 - 40.00	45	2.43	15.05	1.29	0.56
	45.00 - 45.50	26.14	2.53	15.89	0.97	0.49
	49.50 - 50.00	28.52	2.53	15.94	1.00	0.50
	55.00 - 55.50	17.93	2.54	17.06	0.72	0.42
59.50 - 60.00	17.6	2.55	17.19	0.71	0.42	
BH-4	5.00 - 5.50	32.47	2.60	14.73	1.30	0.56
	9.50 - 10.00	55.31	2.28	11.15	2.11	0.68
	15.00 - 15.50	52.18	2.32	11.57	1.33	0.67
	19.50 - 20.00	51.56	2.32	11.61	1.97	0.66

	25.00 - 25.50	44.23	2.42	13.05	1.62	0.62
	29.50 - 30.00	39.91	2.43	14.00	1.38	0.58
	35.00 - 35.50	39.84	2.43	14.02	1.37	0.58
	39.50 - 40.00	38.2	2.43	14.38	1.29	0.56

Tabel 3. 6 Tabel Parameter Tanah (*engineering properties*)

	Depth	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index (%)	Internal Friction, ϕ (°)	Cohesion, c (kN/m ²)
BH-2	5.00 - 5.50	NP	NP	NP	14.82	0.00
	9.50 - 10.00	NP	NP	NP	20.01	0.00
	15.00 - 15.50	47.55	25.56	22	24.82	7.35
	19.50 - 20.00	40.46	25.24	15.22	26.90	8.04
	25.00 - 25.50	60.78	25.46	35.31	16.60	25.87
	29.50 - 30.00	63.5	27.24	36.26	14.38	24.50
	35.00 - 35.50	63.42	27.33	36.09	14.38	24.21
	39.50 - 40.00	59.12	26.07	33.05	16.52	34.40
	45.00 - 45.50	48.29	25.02	23.27	20.50	13.92
	49.50 - 50.00	50.31	26.21	24.1	19.11	15.68
	55.00 - 55.50	43.51	26.13	17.38	26.17	44.10
59.50 - 60.00	40.33	25.27	15.06	27.44	44.30	
BH-4	5.00 - 5.50	51.55	25.34	26.21	14.45	11.27
	9.50 - 10.00	74.71	27.16	47.55	9.61	16.96
	15.00 - 15.50	67.41	24.38	43.03	10.31	17.64
	19.50 - 20.00	67.21	24.16	43.05	10.40	17.15
	25.00 - 25.50	65.31	28.26	37.05	13.30	24.70
	29.50 - 30.00	63.08	27.01	36.07	14.76	30.38
	35.00 - 35.50	62.79	26.26	36.52	14.83	30.87
	39.50 - 40.00	59.34	26.11	33.23	15.19	31.85

3.3.3 Parameter Input Software

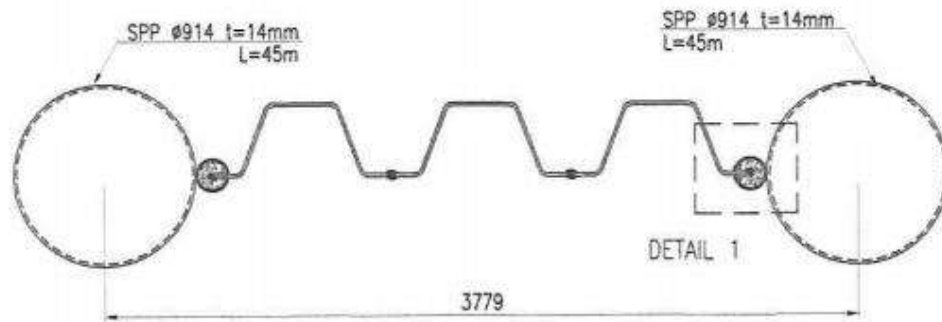
Untuk analisa stabilitas dengan menggunakan software finite element diperlukan parameter tanah yang didapat dari data-data tanah hasil penyelidikan yang diperoleh secara langsung dari laboratorium. Data tanah yang diperlukan sebagai parameter tanah dalam program software dengan model material Mohr-Coloumb.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

Tabel 3. 7 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
γ_{unsat}	14.73	11.15	11.57	13.05	14.38	15.89	17.19
γ_{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, ν'	0.20	0.30	0.40	0.30	0.40	0.30	0.40
Shear Modulus, G	8640.0 0	2730. 00	6370.70	5604.30	7711.90	10274.5 5	25818. 10
Eodomet er, Eoed	16000. 00	5653. 85	19502.1 4	11606.5 4	23607.8 6	21278.6 5	79035. 00
cohesion, c	11.27	16.96	17.15	24.70	30.87	34.40	44.30
Internal Friction, ϕ (°)	14.45	9.61	10.40	13.30	15.19	20.50	27.44
Dilitancy angle, ψ	0	0	0	0	0	0	0

3.3.4 Desain Combined Wall

Combined Wall merupakan gabungan dari 2 tipe sheet pile yang terdiri atas Steel Pipe Pile (SPP) 914 t = 14 sepanjang 45 m dan Hat type Sheet Pile (NS-SP-45H) sepanjang 30 m.



Gambar 3. 7 Combined Wall

Desain dinding gabungan didasarkan pada prinsip bahwa tanah yang tertahan berperilaku sebagai lengkungan. Tekanan tanah ditransfer ke elemen yang paling kaku, dalam hal ini tabung, sedangkan tekanan air mempengaruhi baik tubular pile maupun sheet pile. Sheet pile ditengah berfungsi sebagai membran yang menjaga struktur tanah tetap rapat, sambil memindahkan beban dari tanah ke tabung dan menahan tekanan air yang terjadi. Untuk mempertahankan efek lengkungan, penting bahwa radius tabung lebih besar dari ketinggian sheetpile. Semakin besar diameter tabung, semakin lebih lebar dimensi sheet pile sambil menjamin efek lengkungan tanah. Adapun spesifikasi 2 tipe sheet pile terdapat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 3. 8 Spesifikasi Steel Pipe Pile (SPP)

Diameter D (mm)	Thickness t (mm)	Moment of Inersia I (cm ⁴)	Elastic section modulus W (cm ³)	Sectional Area A (cm ²)	Mass G (kg/m)
914	14	400890	8770	395.8	310.7

Tabel 3. 9 Spesifikasi Hat type - Sheet Pile

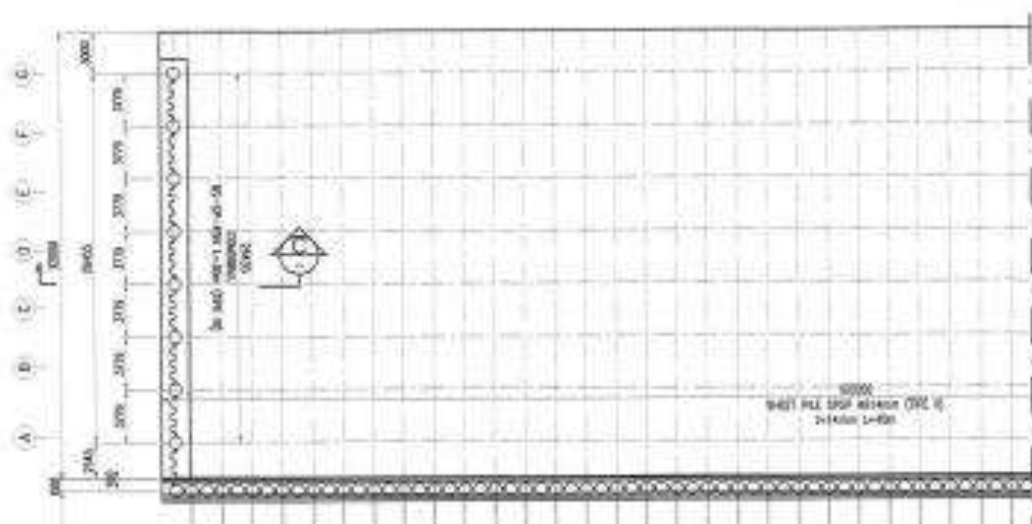
Effective Width W (mm)	Effective height h (mm)	Thickness t (mm)	Moment of Inersia I (cm ⁴)	Elastic section modulus W (cm ³)	Sectional Area A (cm ²)	Mass G (kg/m)
900	368	15	40500	2200	187	147

Tanah dan turap memiliki perilaku interaksi yang kompleks, metoda finite element untuk analisa struktur turap dapat dilakukan menggunakan program komputer. Program komputer finite element khusus geoteknik diperuntukkan untuk analisa dua dimensi dari deformasi dan analisa stabilitas tanah, batuan, dan sistem tanah-struktur. Parameter struktur combined wall ditunjukkan pada tabel sebagai berikut :

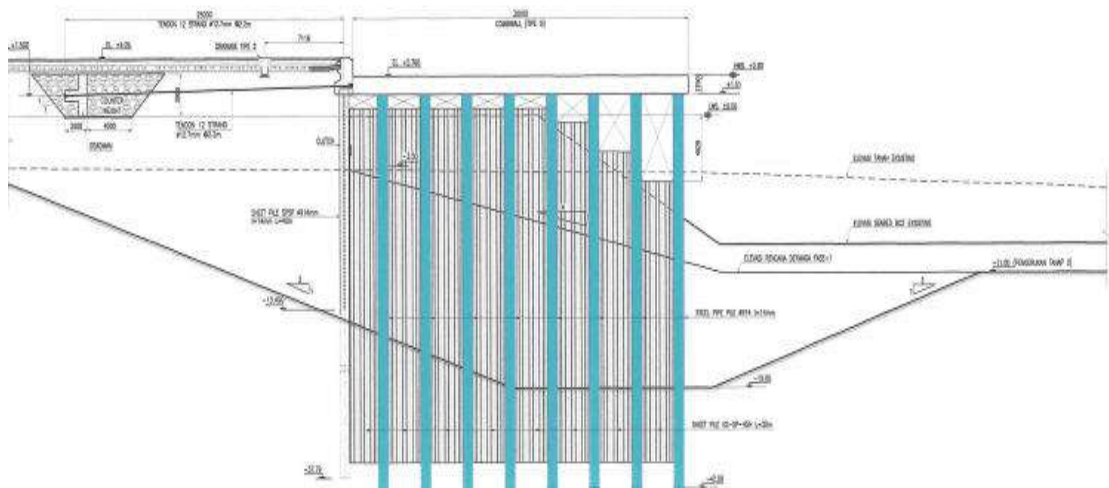
Tabel 3. 10 Parameter Struktur Combined Wall

E_{material} kN/m ²	I_{material} m ⁴ /m	A_{material} m ² /m	EA kN/m	EI kN.m ² /m	w kN/m/m
210000000	0.00138344	0.13526	28404600	290524.0996	10.415

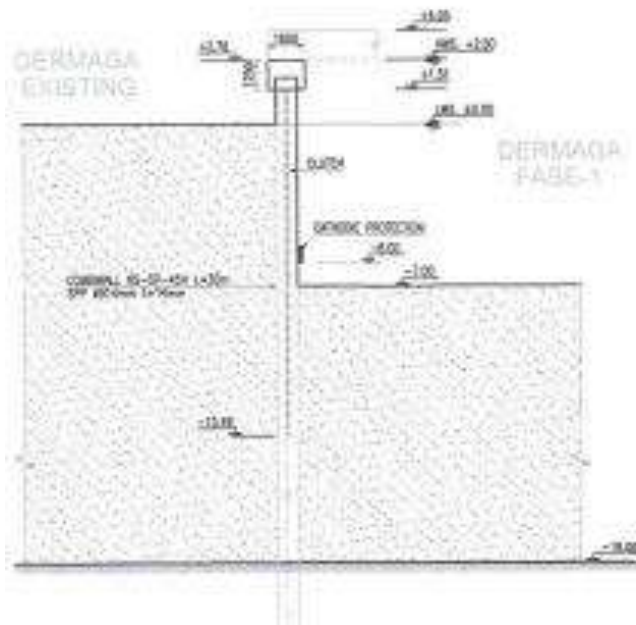
Combined Wall dipancang sepanjang ±28 m mengarah ke laut. Dinding ini dibuat dengan dua tipe sheet pile yang berbeda jenis dan kedalamannya. Susunannya dirancang seperti anak tangga yang mengikuti kontur tanah dasar laut. Combined Wall terletak pada daerah interface. Dalam pembahasan perencanaan turap pada fase 1 ini terbagi menjadi 2 daerah, daerah yang pertama merupakan daerah normal dan daerah kedua merupakan daerah interface (pertemuan) dimana pada daerah interface tersebut tidak terdapat sandkey. Gambar tampak atas combined wall seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 3. 8 Tampak Atas Combined Wall



Gambar 3. 9 Potongan Tipikal Area Interface



Gambar 3. 10 Potongan Melintang Combined Wall

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Proyek

Proyek pemasangan sheet pile pada Terminal Petikemas Fase 1 Belawan sudah dimulai dari bulan Januari 2021. Proyek ini sangat kompleks karena terdapat beberapa pekerjaan didalamnya dan direncanakan selesai dalam 290 hari kalender. Secara umum, proyek ini dibagi menjadi beberapa pekerjaan diantaranya evaluasi kondisi tanah dan eksisting, pembongkaran paving blok, pemancangan sheet pile, pemasangan angkur, pembuatan capping beam, pemasangan beton matras di fase 2 serta pengerukan dasar laut.

Untuk pekerjaan penyelidikan tanah (soil investigation) dilakukan terlebih dahulu pada akhir tahun 2020 untuk mengetahui kondisi tanah pada daerah pemancangan sebagai acuan perencanaan sheet pile. Dari hasil penyelidikan tersebut didapatkan hasil bahwa kondisi tanah di area fase 1 merupakan pasir lepas dan lempung lunak sehingga struktur lapisan tanah pada lokasi ini sangat rawan terhadap pergeseran/sleding, ditambah lagi akibat gerusan ombak air laut. Maka dari itu pada area ini harus menggunakan desain struktur yang cukup dalam.

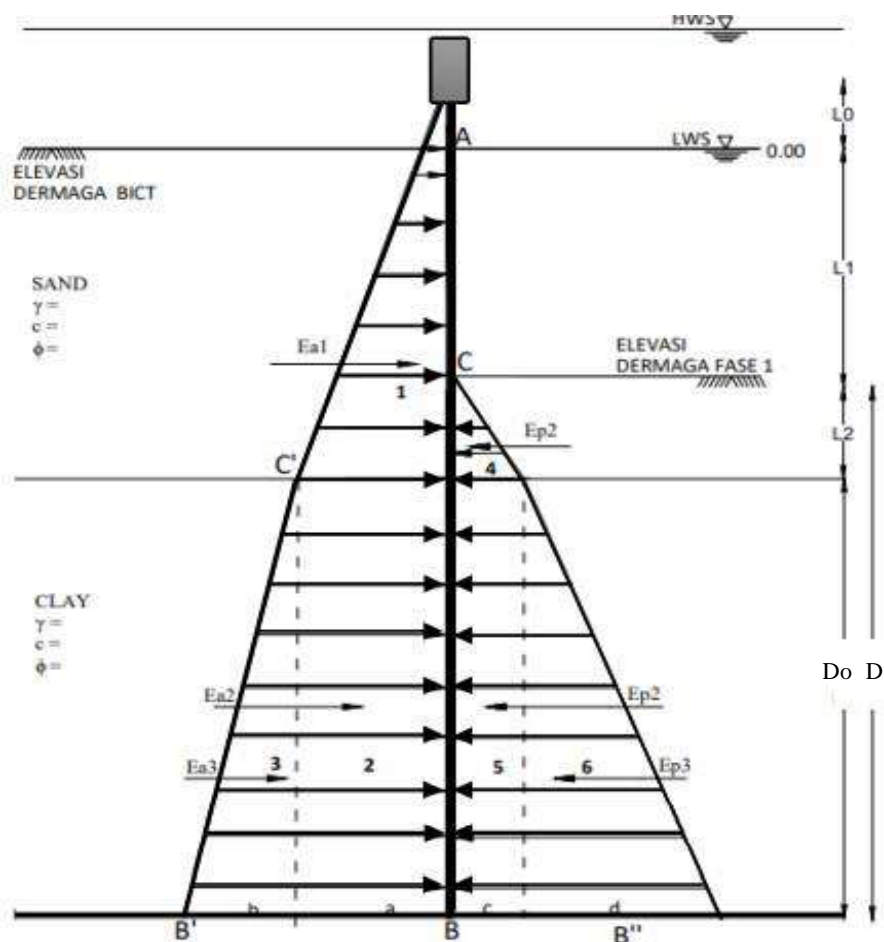
Pekerjaan pemancangan sheet pile dibagi atas 3 tipe yaitu Steel Pipe Sheet Pile (SPSP), NS Sheet Pile 45H, dan Combined Wall. Ketiga tipe sheet pile tersebut dipancang di daerah yang berbeda dan memiliki fungsi yang berbeda pula. Steel Pipe Sheet Pile (SPSP) dipancang pada sepanjang 350 m dengan dua kedalaman yang berbeda. Untuk kedalaman 40 m dipancang sepanjang 200 m dan kedalaman 30 m dipancang sepanjang 150 m pada dinding dermaga. Tipe ini menggunakan angkur untuk memperkuat penahanan sheet pile terhadap gaya lateral yang terjadi. Bukan hanya itu sheet pile ini akan menahan beban aksial dari aktivitas petikemas di atasnya. Sheet Pile dengan tipe NS SP 45 H dipancang sepanjang perbatasan fase 1 dan fase 2, berfungsi untuk memberikan proteksi terhadap terminal petikemas fase 2 untuk menjaga kestabilan kondisi tanah dan strukturnya.

Selanjutnya untuk tipe combined wall, dipasang sepanjang perbatasan fase 1 dan terminal petikemas Belawan (TPK Belawan) dan searah dengan arah ombak air laut dengan panjang ± 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 lateral. Tipe combined wall merupakan gabungan dari Tubular Pile / Steel Pipe Pile (SPP) dan Hat type sheet pile. Menggunakan prinsip struktur bangunan yaitu Tubular Pile sebagai kolom dan Hat type sheet pile sebagai dinding. Selain untuk memberikan proteksi terhadap tanah, rangkaian pekerjaan ini dilakukan sebagai awal pembangunan dermaga di fase 1 yang nantinya akan beroperasi sebagai terminal petikemas.

4.2 Analisis Sheet Pile Secara Manual

Analisis secara manual dilakukan pada masing-masing sheet pile di kedalaman yang berbeda namun menggunakan data dan kondisi tanah yang sama. Hal yang dapat di analisis adalah perhitungan kedalaman pemancangan sheet pile serta safety factor. Perhitungan tersebut di dapatkan dengan cara sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Diagram Tekanan Tanah

Menghitung kedalaman pemancangan di tanah lempung

a. Tahap 1 : Menentukan Nilai Ka dan Kp

$$K_a = \text{tg}^2(45 - \phi/2) = 1$$

$$K_p = \text{tg}^2(45 + \phi/2) = 1$$

Perhitungan :

Tanah Pasir

$$K_{a1} = \text{tg}^2(45 - \phi/2) = \text{tg}^2(45 - 33/2) = 0.213$$

$$K_{p1} = \text{tg}^2(45 + \phi/2) = \text{tg}^2(45 + 33/2) = 3.392$$

Tanah Lempung

$$K_{a2} = \text{tg}^2(45 - \phi/2) = \text{tg}^2(45 - 0/2) = 1$$

$$K_{p2} = \text{tg}^2(45 + \phi/2) = \text{tg}^2(45 + 0/2) = 1$$

b. Tahap 2 : Menentukan letak titi jepit pada sheet pile

Perhitungan z_f atau biasa disebut letak jepit pada pemancangan sheet pile yaitu sebagai berikut :

$$Z_f = 1.8 T$$

Dimana:

Z_f : Titik Jepit

T : Faktor Kekakuan

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{nh}}$$

E : Modulus Elastisitas

I : Momen Inersia

Nh : Koefisien Modulus Variasi sebesar 700 kN/m^3 untuk tanah lempung.

Perhitungan :

Tubular Pile

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{nh}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{210000000 \times 0.004361}{700}}$$

$$T = 4.164 \text{ m}$$

Maka, $Z_f = 1.8 T$

$$Z_f = 1.8 (4.164) = 7.496 \text{ m}$$

NS Sheet Pile 45 H

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{nh}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{210000000 \times 0.000405}{700}}$$

$$T = 2.641 \text{ m}$$

Maka, $Z_f = 1.8 T$

$$Z_f = 1.8 (2.641) = 4.754 \text{ m}$$

c. Tahap 3 : Menentukan Tegangan horizontal

Tanah Aktif

Tabel 4. 1 Tekanan Tanah Aktif

No	Kode	σ_h (kN/m ²)	H (m)	Luasan (m ²)	Total (kN/m ²)
	1	2	3	4	5
1	a	$(16-10) \times 19 \times 0.2 = 24.29$	19	Segitiga	$\frac{1}{2} \times 24.29 \times 19 = 230.74$
2	a	$[(16-10) \times 19 \times 0.2] - 2 \times 15 = 24.29 - 30$	Do	Persegi	$(24.29 - 30) \times Do = -5.71do$
3	c	6 Do	Do	Segitiga	$\frac{1}{2} \times 6Do \times do = 3Do^2$

Tanah Pasif

Tabel 4. 2 Tekanan Tanah Pasif

No	Kode	σ_h (kN/m ²)	H (m)	Luasan (m ²)	Total (kN/m ²)
	1	2	3	4	5
4	c	$(16-10) \times 5 \times 3.39 = 101.76$	5	Segitiga	$\frac{1}{2} \times 101.76 \times 5 = 254.41$
5	c	$[(16-10) \times 5 \times 3.39] - 2 \times 15 = 101.76 - 30$	Do	Persegi	$101.76 \times do = 101.76Do + 30$
6	d	6do	Do	Segitiga	$\frac{1}{2} \times 6Do \times Do = 3Do^2$

d. Tahap 4 : Menghitung Moment yang bekerja pada turap

Tabel 4. 3 Moment pada tanah aktif

No	$\sigma' H$ (kN/m ²)	Lengan Moment ke titik B (m)	Moment (kNm)
	1	2	3
1	230.74	$(1/3 \times 19) + D_o = 6.33 + d_o$	$2230.5 + 230.74 d_o$
2	$-5.71D_o$	$1/2D_o$	$65.882D_o^2$
3	$3D_o^2$	$1/3D_o$	D_o^3
ΣM_{aktif}		$D_o^3 - 2.86d_o^2 - 230.74d_o + 2243.8$	

Tabel 4. 4 Moment pada tanah pasif

No	$\sigma' H$ (kN/m ²)	Lengan Moment ke titik B (m)	Moment (kNm)
	1	2	3
4	2544.1	$(1/3 \times 5) + d_o = 1.67 + d_o$	$424.01 + 254.41d_o$
5	$101.76d_o + 30$	$1/2D_o$	$65.882D_o^2$
6	$6D_o^2 + 25D_o$	$1/3D_o$	D_o^3
ΣM_{aktif}		$d_o^3 - 65.88d_o^2 - 254.41d_o + 424.01$	

Jumlah Moment positif

$$\Sigma(+M) = d_o^3 - 2.86D_o^2 - 230.74D_o + 2230.5$$

$$\Sigma(-M) = d_o^3 - 65.88D_o^2 - 254.41D_o + 424.01$$

$$\Sigma(+M) = \Sigma(-M)$$

$$d_o^3 - 2.86d_o^2 - 230.74D_o + 2230.5 = d_o^3 - 65.88D_o^2 - 254.41d_o + 424.01$$

$$-68.74d_o^2 - 23.67d_o + 1819.78 = 0$$

Untuk menghitung nilai D menggunakan persamaan diatas :

$$-68,74D_o^2 - 23,67d_o + 1819.78 = 0$$

Dengan menggunakan Metode Trial and Error Maka didapat nilai $d_o = 4,975$ m

D untuk SPP adalah $D = 7,49 + d_o = \mathbf{12,465}$ m

D untuk NS SP 45H adalah $D = 4.754 + d_o = \mathbf{9,725}$ m

Maka dari itu,

1. Pada perencanaan pemancangan SPP pada Dactual yang dipakai adalah 29,49

m. $D_{theory} = 12,465$ m ; $D_{actual} = \text{Safety Factor} \times 9,945$ m.

$$\text{Maka safety factor pada SPP adalah} = \frac{29,49}{12,46} = \mathbf{2,365}$$

2. Pada perencanaan pemancangan NS SP 45H pada Dactual yang dipakai adalah 14,49 m. $D_{theory} = 9,975 \text{ m}$; $D_{actual} = \text{Safety Factor} \times 9,945 \text{ m}$.

Maka safety factor pada NS SP 45H adalah $= \frac{14,49}{9,725} = 1,489$

4.3 Analisis Gabungan Sheet Pile pada Combined Wall

Combined wall terdiri dari gabungan beberapa jenis sheet pile. Pada penelitian ini terdapat 2 jenis yakni tubular pile dan hat type sheet pile. Setiap komponen memiliki fungsi masing-masing. Pada hal ini, tubular pile berfungsi sebagai kolom dan hat type sheet pile sebagai dinding. Di desain khusus untuk menahan pegerakan tanah lateral. Dalam metode elemen hingga menggunakan paramater E, I, EA, EI, w yang akan diinput ke software komputer untuk mendapatkan hasil dari analisa tersebut. Nilai dari parameter tersebut didapatkan dari data spesifikasi yang dimiliki masing-masing komponen combined wall menggunakan rumus-rumus sebagai acuan untuk mendapatkan nilai parameter yang diinginkan.

4.3.1 Combined Wall : 2 Tubular Pile dengan 3 hat type sheet pile

Combined Wall yang menggunakan desain 2 Tubular Pile dengan 3 hat type sheet pile ini yang dipakai pada proyek pemasangan sheet pile di Terminal Petikemas Fase 1 Belawan. Karena kombinasi jenis ini dianggap mampu menahan gaya lateral dari tanah dan air. Untuk perhitungan parameter E, I, EA, EI, w sebagai berikut:

Diketahui :

Combined Wall yang terdiri atas 2 Tubular Pile (SPP D914) dan 3 Hat type Sheet Pile (NS SP 45H).

$$E_{material} = 210000000 \text{ kN/m}^2$$

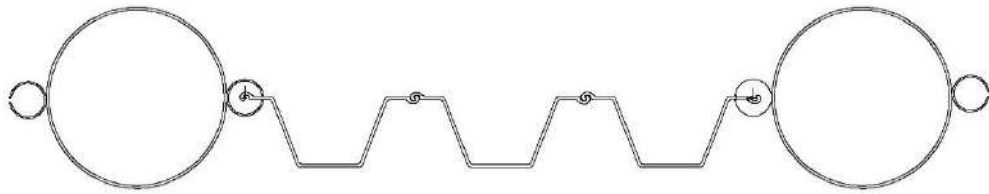
$$I_{tubular \text{ pile}} = 400890 \text{ cm}^4$$

$$A_{tubular \text{ pile}} = 395.8 \text{ cm}^2$$

$$I_{sheet \text{ pile}} = 40500 \text{ cm}^4$$

$$A_{sheet \text{ pile}} = 187 \text{ cm}^2$$

$$B_{sys} = 3.779 \text{ m}$$



Gambar 4. 2 Combined Wall : 2 Tubular dengan 3 hat type sheet pile

Penyelesaian parameter combined wall :

1. Momen Inersia (I)

$$\begin{aligned}
 I_{\text{sys}} &= \frac{I_{\text{tubularpile}} + I_{\text{sheetpile}}}{b_{\text{sys}}} \\
 &= \frac{(2 \times 400890) + (3 \times 40500)}{3,779} \\
 &= 138344.809 \text{ cm}^4/\text{m} \\
 &= 0.001383448 \text{ m}^4/\text{m}
 \end{aligned}$$

2. Luas Area (A)

$$\begin{aligned}
 A_{\text{sys}} &= \frac{A_{\text{tubularpile}} + A_{\text{sheetpile}}}{b_{\text{sys}}} \\
 &= \frac{(2 \times 395.8) + (3 \times 187)}{3.779} \\
 &= 1352.600 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 &= 0.13526 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Kekakuan Normal (EA)

$$\begin{aligned}
 EA &= E_{\text{material}} \times A \\
 &= 210000000 \times 0.13526 \\
 &= 28404600 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4. Kekakuan Lentur (EI)

$$\begin{aligned}
 EI &= E_{\text{material}} \times I \\
 &= 210000000 \times 0.001383448 \\
 &= 290524.0996 \text{ kN. m}^2/\text{m}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan berat (w)

$$\begin{aligned}
 \gamma_{\text{baja}} &= 77 \text{ kN/m}^3 \\
 w &= \gamma_{\text{baja}} \times A \\
 &= 77 \times 0.13526 \\
 &= 10.415 \text{ kN. m/m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 5 Tabel Spesifikasi Tubular Pile dengan 3 Hat type Sheet Pile

E_{material}	I_{material}	A_{material}	EA	EI	w
kN/m²	m⁴/m	m²/m	kN/m	kN.m²/m	kN/m/m
210000000	0.001383448	0.13526	28404600	290524.0996	10.41502

4.3.2 Combined Wall : 2 Tubular Pile dengan 2 hat type sheet pile

Combined Wall yang menggunakan desain 2 Tubular Pile dengan 2 hat type sheet pile ini digunakan sebagai objek analisa perbandingan desain combined wall pada penelitian. Untuk perhitungan parameter E, I, EA, EI, w sebagai berikut:

Diketahui:

Combined Wall yang terdiri atas 2 Tubular Pile (SPP D914) dan 3 Hat type Sheet Pile (NS SP 45H).

$$E_{\text{material}} = 210000000 \text{ kN/m}^2$$

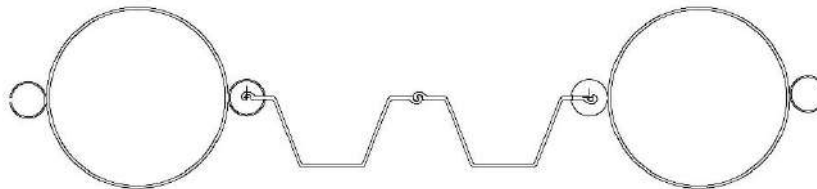
$$I_{\text{tubular pile}} = 400890 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{tubular pile}} = 395.8 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{sheet pile}} = 40500 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{sheet pile}} = 187 \text{ cm}^2$$

$$B_{\text{sys}} = 2.876 \text{ m}$$



Gambar 4. 3 Combined Wall : 2 Tubular Pile dengan 2 hat type sheet pile

Penyelesaian parameter combined wall :

1. Momen Inersia (I)

$$\begin{aligned}
 I_{\text{sys}} &= \frac{I_{\text{tubularpile}} + I_{\text{sheetpile}}}{b_{\text{sys}}} \\
 &= \frac{(2 \times 400890) + (2 \times 40500)}{2.876} \\
 &= 167555.633 \text{ cm}^4/\text{m} \\
 &= 0.001675556 \text{ m}^4/\text{m}
 \end{aligned}$$

2. Luas Area (A)

$$A_{\text{sys}} = \frac{A_{\text{tubularpile}} + A_{\text{sheetpile}}}{b_{\text{sys}}}$$

$$= \frac{(2 \times 395.8) + (3 \times 187)}{2.876}$$

$$= 1165.6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$= 0.11656 \text{ m}^2$$

3. Kekakuan Normal (EA)

$$EA = E_{\text{material}} \times A$$

$$= 210000000 \times 0.11656$$

$$= 2447600 \text{ kN/m}$$

4. Kekakuan Lentur (EI)

$$EI = E_{\text{material}} \times I$$

$$= 210000000 \times 0.001675556$$

$$= 351866.8289 \text{ kN.m}^2/\text{m}$$

5. Perhitungan berat (w)

$$\gamma_{\text{baja}} = 77 \text{ kN/m}^3$$

$$w = \gamma_{\text{baja}} \times A$$

$$= 77 \times 0.11656$$

$$= 8.975 \text{ kN.m/m}$$

Tabel 4. 6 Tabel Spesifikasi Tubular Pile dengan 2 Hat type Sheet Pile

E_{material}	I_{material}	A_{material}	EA	EI	w
kN/m^2	m^4/m	m^2/m	kN/m	$\text{kN.m}^2/\text{m}$	kN/m/m
210000000	0.001675556	0.11656	24477600	351866.8289	8.97512

4.3.3 Combined Wall : 2 Tubular Pile dengan 1 hat type sheet pile

Combined Wall yang menggunakan desain 2 Tubular Pile dengan 1 hat type sheet pile ini digunakan sebagai objek analisa perbandingan desain combined wall pada penelitian. Untuk perhitungan parameter E, I, EA, EI, w sebagai berikut:

Diketahui:

Combined Wall yang terdiri atas 2 Tubular Pile (SPP D914) dan 3 Hat type Sheet Pile (NS SP 45H).

$$E_{\text{material}} = 210000000 \text{ kN/m}^2$$

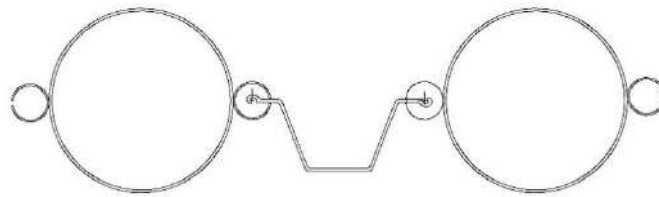
$$I_{\text{tubular pile}} = 400890 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{tubular pile}} = 395.8 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{sheet pile}} = 40500 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{sheet pile}} = 187 \text{ cm}^2$$

$$B_{\text{sys}} = 1.976 \text{ m}$$



Gambar 4. 4 Combined Wall : 2 Tubular Pile dengan 1 hat type sheet pile

Penyelesaian parameter combined wall:

1. Momen Inersia (I)

$$\begin{aligned} I_{\text{sys}} &= \frac{I_{\text{tubularpile}} + I_{\text{sheetpile}}}{b_{\text{sys}}} \\ &= \frac{(2 \times 400890) + (1 \times 40500)}{1.976} \\ &= 223375.506 \text{ cm}^4/\text{m} \\ &= 0.002233755 \text{ m}^4/\text{m} \end{aligned}$$

2. Luas Area (A)

$$\begin{aligned} A_{\text{sys}} &= \frac{A_{\text{tubularpile}} + A_{\text{sheetpile}}}{b_{\text{sys}}} \\ &= \frac{(2 \times 395.8) + (1 \times 187)}{1.976} \\ &= 978.6 \text{ cm}^2/\text{m} \\ &= 0.09786 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3. Kekakuan Normal (EA)

$$\begin{aligned} EA &= E_{\text{material}} \times A \\ &= 210000000 \times 0.09786 \\ &= 20550600 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4. Kekakuan Lentur (EI)

$$\begin{aligned} EI &= E_{\text{material}} \times I \\ &= 210000000 \times 0.002233755 \\ &= 469088.5628 \text{ kN} \cdot \text{m}^2/\text{m} \end{aligned}$$

5. Perhitungan berat (w)

$$\gamma_{\text{baja}} = 77 \text{ kN/m}^3$$

$$w = \gamma_{\text{baja}} \times A$$

$$= 77 \times 0.09786$$

$$= 7.535 \text{ kN. m/m}$$

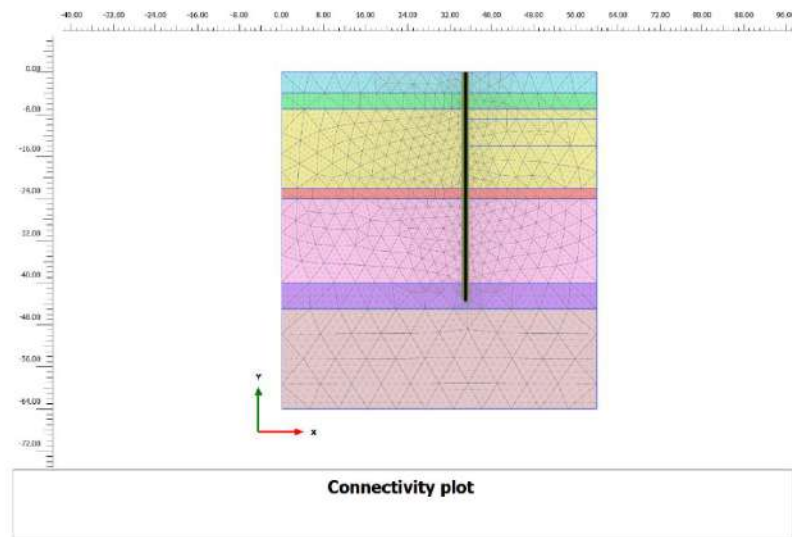
Tabel 4. 7 Tabel Spesifikasi Tubular Pile dengan 1 Hat type Sheet Pile

E_{material}	I_{material}	A_{material}	EA	EI	w
kN/m²	m⁴/m	m²/m	kN/m	kN.m²/m	kN/m/m
210000000	0.002233755	0.09786	20550600	469088.5628	7.53522

4.4 Analisis Combined Wall Dengan Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode Elemen Hingga adalah salah satu metode numerik yang cocok diterapkan untuk menghitung gaya-dalam (*internal forces*) pada berbagai kasus di bidang rekayasa. Proses analisis dilakukan berdasarkan metode kekakuan yang disajikan dalam formulasi matriks. Dalam hal ini di representasikan ke dalam software metode elemen hingga yaitu model elemen dua-dimensi (*Plane Element*). Software FEM ini merupakan sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa goteknik.

Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat. Pemodelan tersebut akan menghasilkan nilai faktor keamanan dengan menggunakan metode shear strength reduction (*phi-c reduction*) yaitu suatu metode yang dimanfaatkan untuk menentukan suatu nilai Safety Factor dan umumnya pada pendekatan-pendekatan elemen hingga. Pendekatan yang utama dari elemen hingga adalah stress = matriks kekakuan (*stiffness matrix*) dikalikan dengan regangan (*strains*). Analisis stabilitas pada combined wall yang dilakukan pada penelitian ini, memodelkan dengan tipe combined wall yang bervariasi. Combined Wall dengan tubular pile sebagai main pile dan hat type sheet pile sebagai secondary pile.

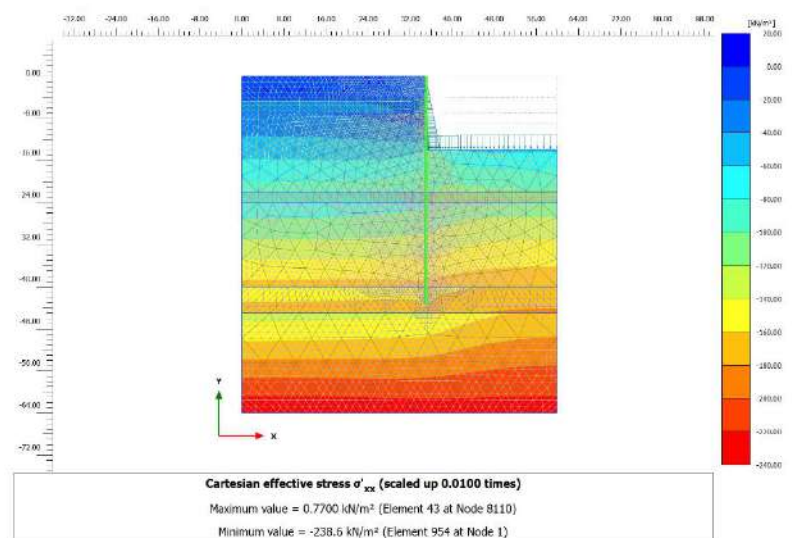


Gambar 4. 5 Generate Mesh Connectivity Plot

Dari gambar 4.5 diatas, menerangkan sebuah kondisi tanah yaitu elemen dan titik-titik node yang terhubung yang berfungsi untuk rangkaian perhitungan menggunakan pendekatan elemen hingga.

4.4.1 Combined Wall: Tubular Pile dengan 1 hat type sheet pile

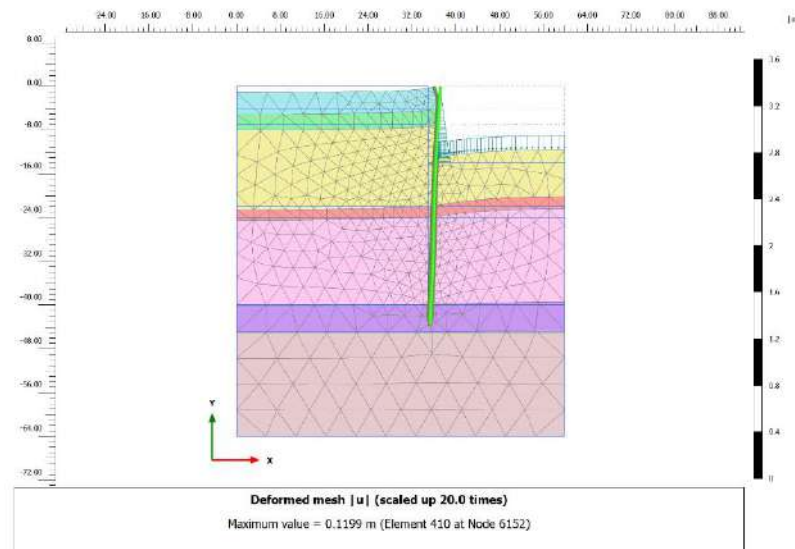
Combined Wall ini memiliki 2 tubular pile dan 1 hat type sheet pile dengan panjang 1.976 m. Combined wall ini berfungsi sebagai objek pembanding dengan nilai kekakuan terendah yakni 20550600 kN/m.



Gambar 4. 6 Tegangan Efektif Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

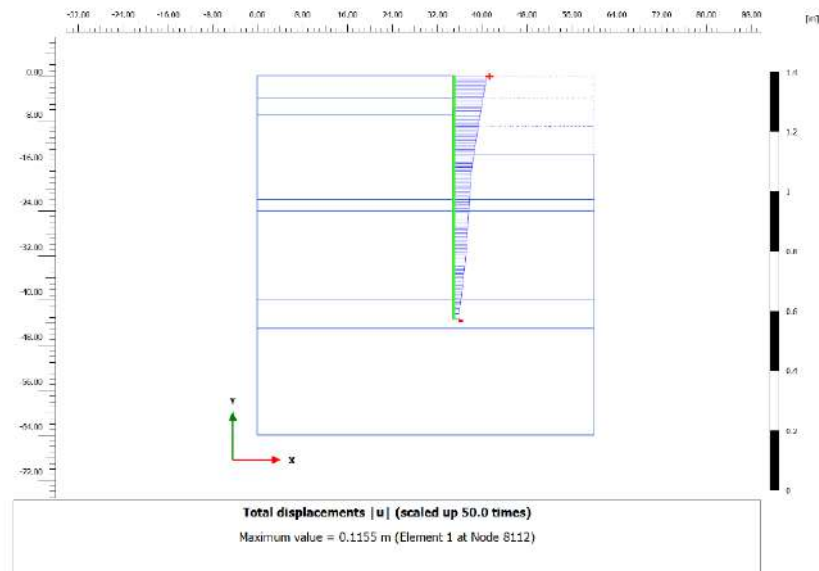
Dari gambar 4.6 diatas, menggambarkan tegangan efektif tanah yang terjadi setelah penggalian 14 meter. Tegangan efektif maksimum yang terjadi sebesar 0.7700 kN/m^2 terdapat pada elemen 43 dan Node 8110 serta tegangan yang minimum adalah -238 kN/m^2 . Tegangan yang dihasilkan mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah.

Deformasi merupakan perubahan bentuk, ukuran dan tempat dari sebuah objek karena sebuah diterapkan gaya. Dapat terjadi akibat dari kekuatan tarik, kekuatan tekan, geser, lipatan atau torsi. Tegangan-Regangan yang dialami oleh tanah adalah hal yang mempengaruhi pergerakan/deformasi combined wall, seperti terlihat pada gambar 4.7.



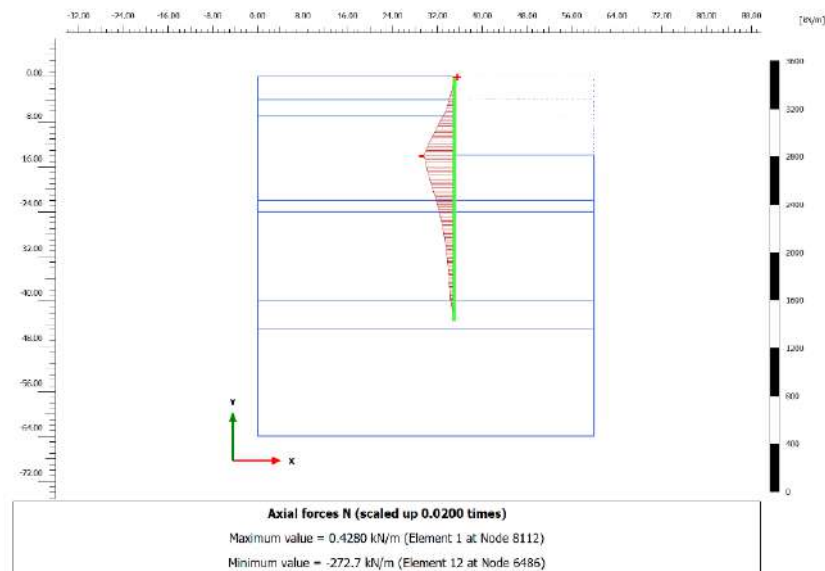
Gambar 4. 7 Deformasi Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Dalam hal ini terjadi perpindahan/pergeseran oleh combined wall dikarenakan ada gaya-gaya yang bekerja. Dari gambar 4.7 didapatkan nilai deformasi sebesar 0.1199 m yang jika dikonversikan menjadi 11.99 cm . Terdapat pada elemen 410 dan node 6152. Besarnya nilai deformasi yang terjadi didapatkan melalui total displacement yang digambarkan dalam bentuk diagram seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Total Displacement Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

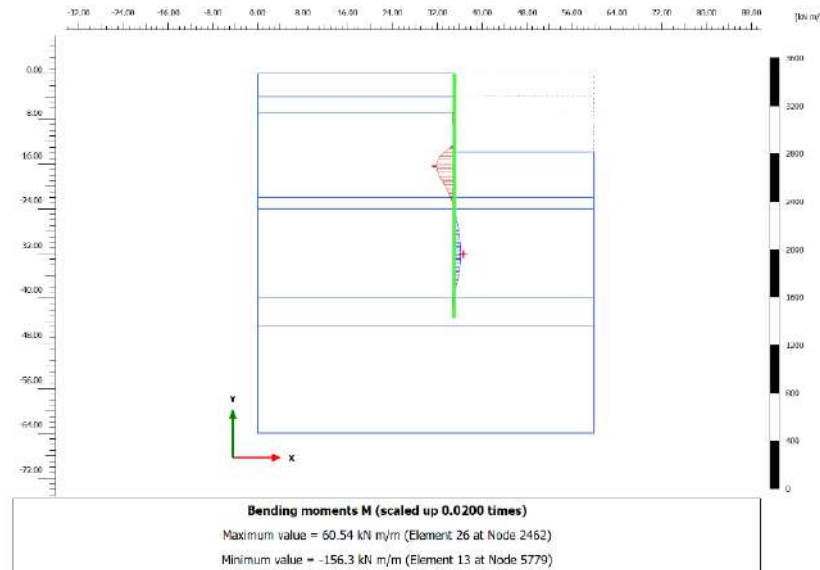
Terlihat pada gambar 4.8, bahwasanya arah perpindahan combined wall yaitu arah lateral dan gaya yang bekerja pada combined wall tersebut ialah tekanan tanah lateral. Hasil total displacementnya bernilai positif sebesar 0.1155 m.



Gambar 4. 9 Axial Force Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Gaya aksial atau biasa disebut dengan gaya normal adalah Gaya normal atau aksial adalah gaya dalam yang bekerja sejajar dengan as. Dari gambar 4.9, didapatkan nilai maksimum gaya aksial sebesar 0.4280 kN/m pada elemen 1 dan node 8112 serta nilai minimum gaya aksial sebesar -272.7 kN/m pada elemen 12

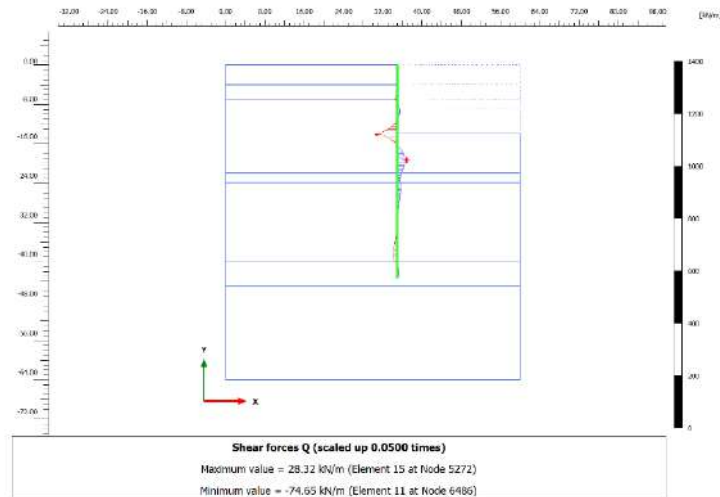
dan node 6486. Selain itu gaya aksial, terdapat gaya yang membuat sebuah struktur itu menjadi bengkok yaitu bending moment atau momen lentur. Seperti terlihat pada gambar 4.10



Gambar 4. 10 Bending Moment Combined Wall dengan 1 sheet pile

Momen lentur adalah reaksi yang diinduksi dalam elemen struktur ketika gaya atau momen eksternal diterapkan pada elemen, yang menyebabkan elemen melengkung. Dari gambar 4.10, didapatkan bahwa nilai bending moment maksimum sebesar 60.54 kNm/m pada elemen 26 dan node 2462 serta bending moment minimum sebesar -156.3 kNm/m pada elemen 13 dan node 5779.

Beban pada sebuah balok cenderung menggeser balok dan juga membengkokkannya. Gaya geser (Shearing Force) pada suatu bagian balok adalah jumlah aljabar dari semua gaya luar tegak lurus terhadap balok di salah satu sisi bagian tersebut. Bending moment dan shear force adalah kesatuan yang terpisahkan dan menyebabkan sebuah struktur menjadi bengkok. Shear force dapat kita lihat seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Shear Force Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Dari gambar 4.11, nilai maksimum shear force sebesar 28.32 kN/m pada elemen 15 dan node 5772 serta minimum sebesar -74.65 kN/m pada elemen 11 node 6486. Gaya ini yang mendorong satu bagian benda ke satu arah tertentu, dan bagian lain dari benda ke arah yang berlawanan.

Setelah mendapatkan parameter-parameter hasil diatas, selanjutnya dalam penelitian ini akan mengecek angka kemanan dari combined wall. Faktor kemanan ini merupakan suatu hal yang sangat penting dalam analisis dan perencanaan struktur secara keseluruhan. Angka keamanan yang dihasilkan akan dikali dengan hasil perencanaan sebuah struktur sebagai faktor pengali keselamatan struktur tersebut. Seperti terlihat pada gambar 4.12.

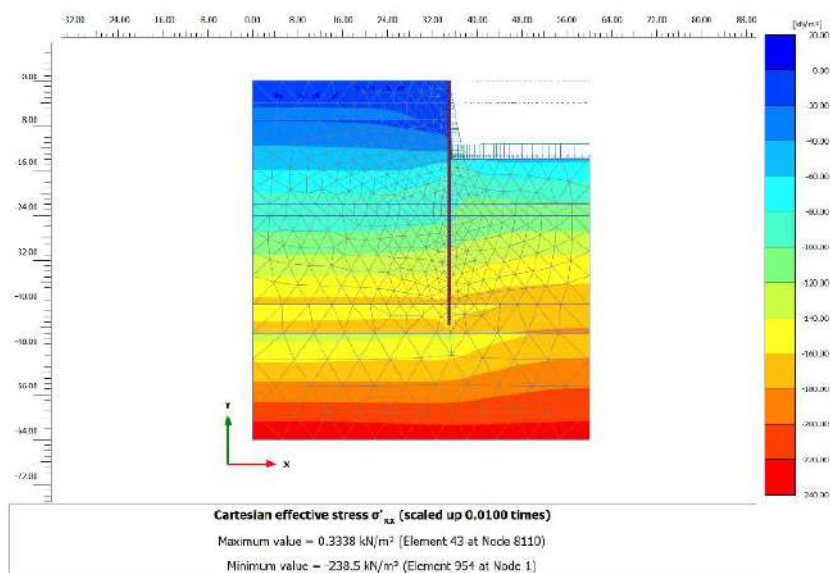
Step info			
Phase	Safety Factor [Phase_4]		
Step	Initial		
Calculation mode	Classical mode		
Step type	Safety		
Updated mesh	True		
Solver type	Picos		
Kernel type	64 bit		
Extrapolation factor	0.5000		
Relative stiffness	6.473E-6		
Multipliers			
Soil weight		ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{gr}	0.03587E-3	ΣM_{gr} 2.481
Time	Increment	0.000	End time 0.000
Staged construction			
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area} 0.9089
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage} 0.000
Forces			
F_x	0.000 kN/m		
F_y	0.000 kN/m		
Consolidation			
Realised $P_{Excess,Max}$	41.86 kN/m ²		

Gambar 4. 12 Safety Factor Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Dari hasil analisa pada gambar 4.12, di dapatkan nilai safety factor sebesar 2.481 dengan relative stiffness sebesar 6.47×10^{-6} . Angka keamanan akan menjadi tolak ukur kestabilan dari suatu struktur.

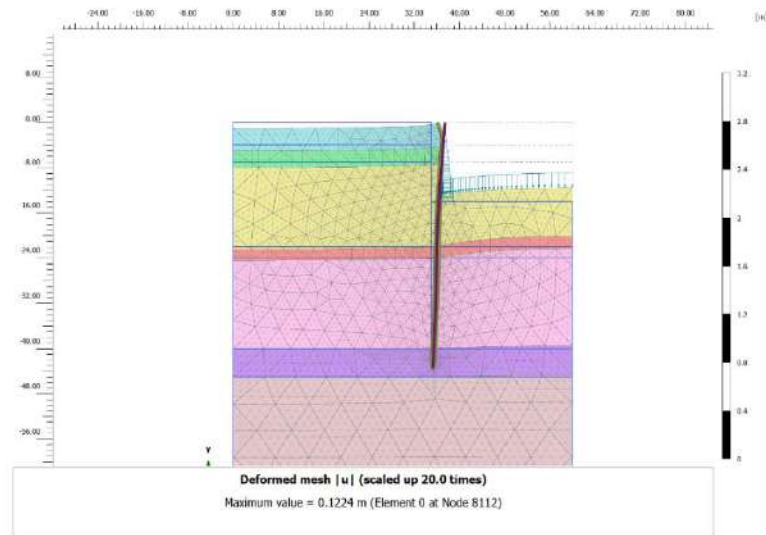
4.4.2 Combined Wall: Tubular Pile dengan 2 hat type sheet pile

Combined Wall ini memiliki 2 tubular pile dan 2 hat type sheet pile dengan panjang 2.876 m. Combined wall ini berfungsi sebagai objek pembanding dengan nilai kekakuan yakni 24477600 kN/m.



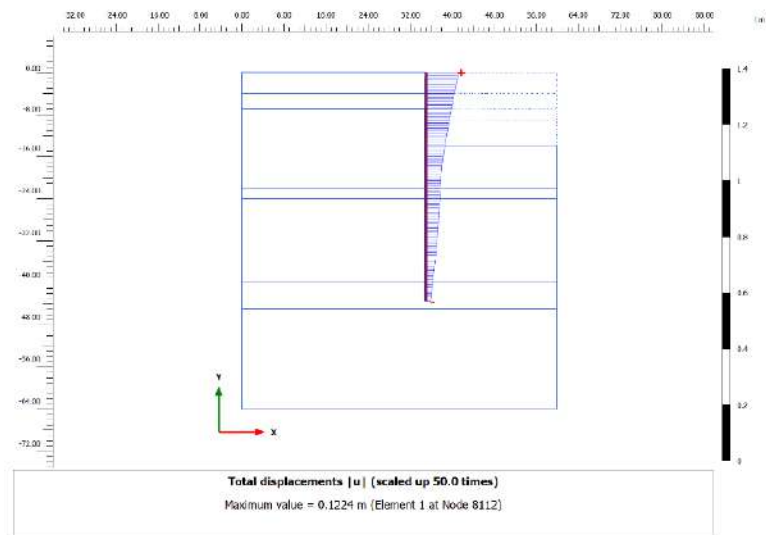
Gambar 4. 13 Tegangan Efektif Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Tegangan yang dihasilkan mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Dari gambar 4.13 diatas, menggambarkan tegangan efektif tanah yang terjadi. Tegangan efektif maksimum yang terjadi sebesar 0.3338 kN/m^2 terdapat pada elemen 43 dan Node 8110 serta tegangan yang minimum adalah -238.5 kN/m^2 pada elemen 954 dan node 1.



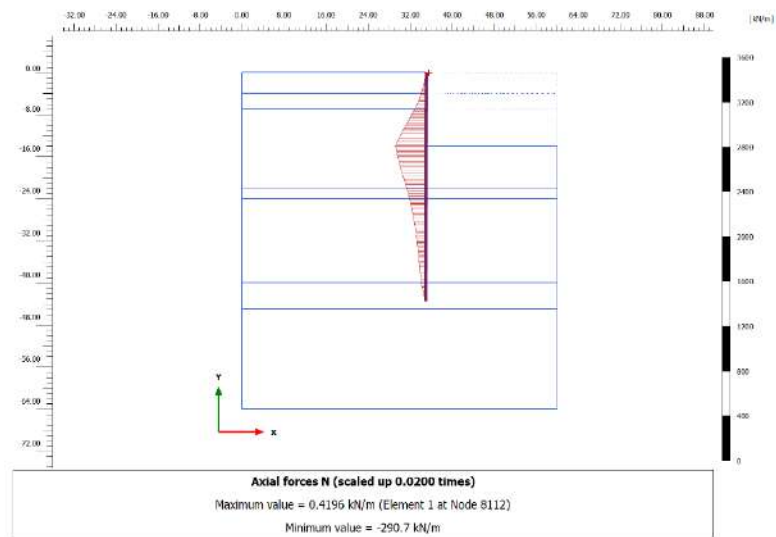
Gambar 4. 14 Deformasi Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dalam hal ini terjadi perpindahan/pergeseran oleh combined wall dikarenakan ada gaya-gaya yang bekerja. Dari gambar 4.14 didapatkan nilai deformasi sebesar 0.1224 m yang jika dikonversikan menjadi 12.24 cm. Terdapat pada elemen 0 dan node 8112. Besarnya nilai deformasi yang terjadi didapatkan melalui total displacement yang digambarkan dalam bentuk diagram seperti pada gambar 4.15.



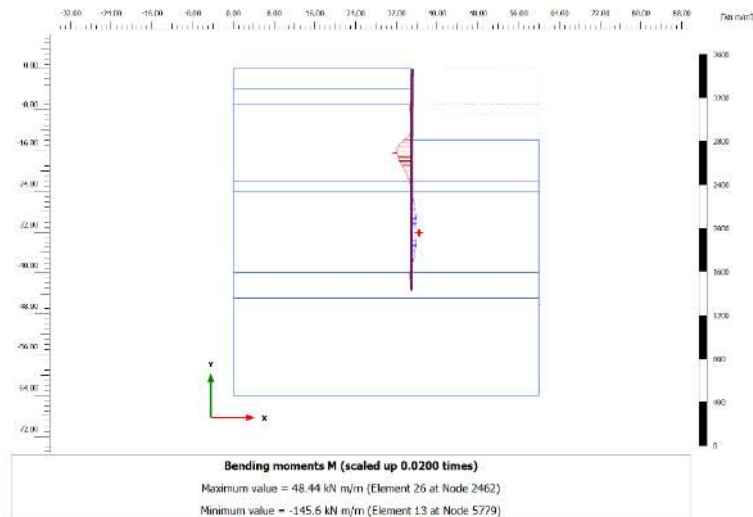
Gambar 4. 15 Total Displacement Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Terlihat pada gambar 4.15, bahwasanya arah perpindahan combined wall yaitu arah lateral dan gaya yang bekerja pada combined wall tersebut ialah tekanan tanah lateral. Hasil total displacementnya bernilai positif sebesar 0.1224 m pada elemen 1 dan node 8112.



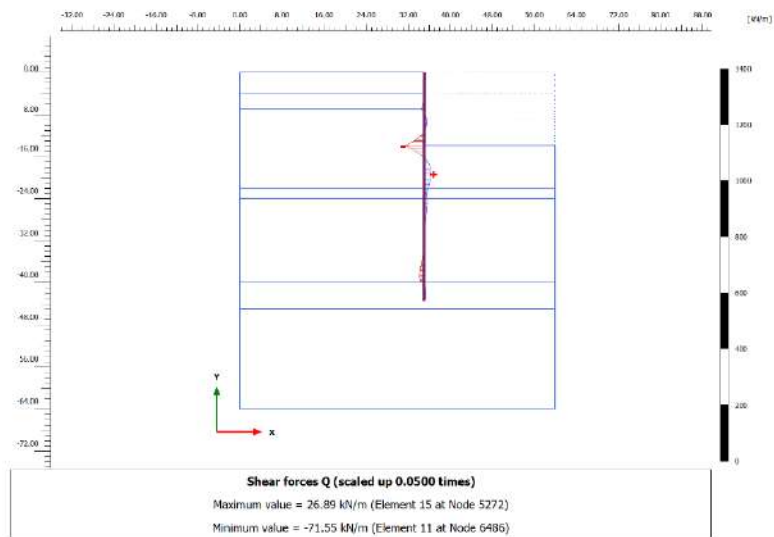
Gambar 4. 16 Axial Force Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Gaya aksial atau biasa disebut dengan gaya normal adalah Gaya normal atau aksial adalah gaya dalam yang bekerja sejajar dengan as. Dari gambar 4.9, didapatkan nilai maksimum gaya aksial sebesar 0.4196 kN/m pada elemen 1 dan node 8112 serta nilai minimum gaya aksial sebesar -290.7 kN/m.



Gambar 4. 17 Bending moment Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari gambar 4.17, didapatkan bahwa nilai bending moment maksimum sebesar 48.44 kNm/m pada elemen 26 dan node 2462 serta bending moment minimum sebesar -145.6 kNm/m pada elemen 13 dan node 5779.



Gambar 4. 18 Shear Force Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari gambar 4.18, nilai maksimum shear force sebesar 26.89 kN/m pada elemen 15 dan node 5772 serta minimum sebesar -71.55 kN/m pada elemen 11 node 6486. Gaya ini yang mendorong satu bagian benda ke satu arah tertentu, dan bagian lain dari benda ke arah yang berlawanan.

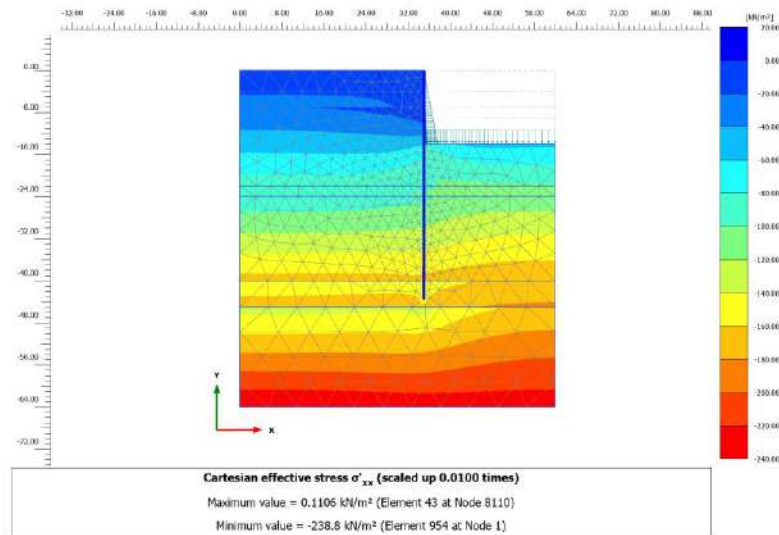
Step info				
Phase	Safety Factor [Phase_4]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	True			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0.5000			
Relative stiffness	0.02516E-3			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{LF}	0.3220E-3	ΣM_{LF}	2.480
Time	Increment	0.000	End time	0.000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area}	0.9089
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage}	0.000
Forces				
F_x	0.000 kN/m			
F_y	0.000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	42.08 kN/m ²			

Gambar 4. 19 Safety Factor Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari hasil analisa pada gambar 4.19, di dapatkan nilai safety factor sebesar 2.480 dengan relative stiffness sebesar 0.0251×10^{-3} . Angka keamanan yang dihasilkan akan dikali dengan hasil perencanaan sebuah struktur sebagai faktor pengali keselamatan struktur tersebut.

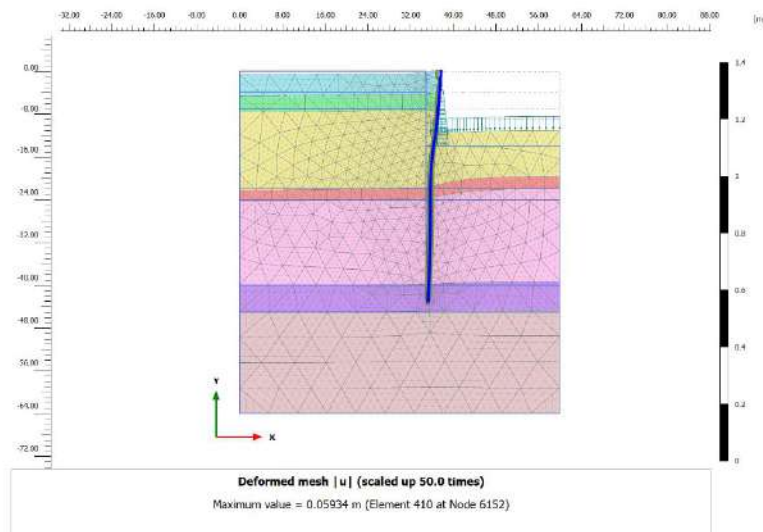
4.4.3 Combined Wall: Tubular Pile dengan 3 hat type sheet pile

Combined Wall ini memiliki 2 tubular pile dan 3 hat type sheet pile dengan panjang 1.976 m. Tipe combined wall yang digunakan dalam proyek memiliki nilai kekakuan sebesar 28404600 kN/m.



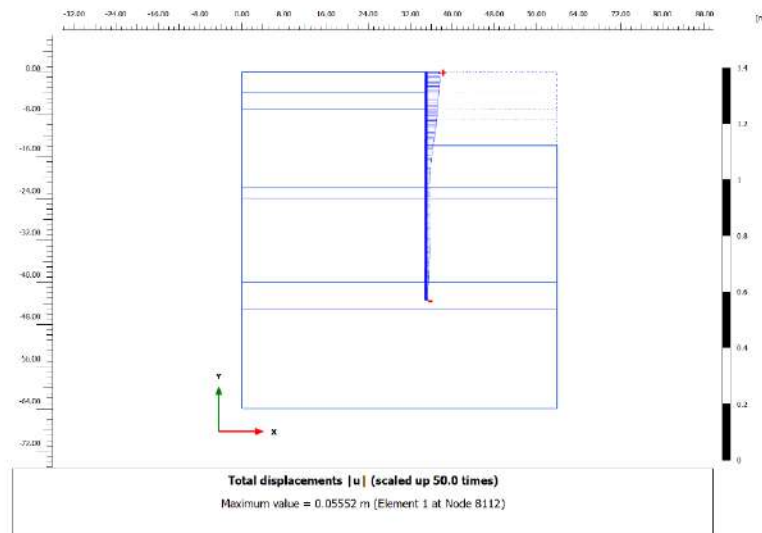
Gambar 4. 20 Tegangan Efektif Combined Wall dengan 3 sheet pile

Tegangan yang dihasilkan mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Dari gambar 4.20 diatas, menggambarkan tegangan efektif tanah yang terjadi. Tegangan efektif maksimum yang terjadi sebesar 0.1106 kN/m² terdapat pada elemen 43 dan Node 8110 serta tegangan yang minimum adalah -238.8 kN/m² pada elemen 954 dan node 1.



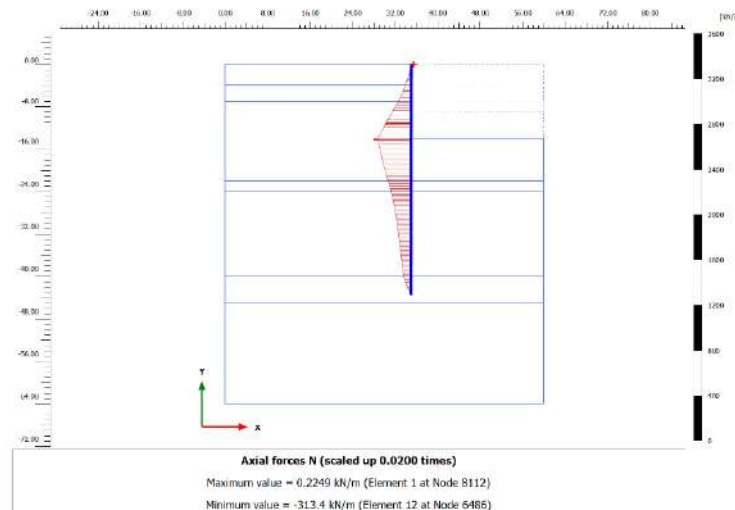
Gambar 4. 21 Deformasi Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dalam hal ini terjadi perpindahan/pergeseran oleh combined wall dikarenakan ada gaya-gaya yang bekerja. Dari gambar 4.21 didapatkan nilai deformasi sebesar 0.05934 m yang jika dikonversikan menjadi 5.934 cm. Terdapat pada elemen 410 dan node 6152. Besarnya nilai deformasi yang terjadi didapatkan melalui total displacement yang digambarkan dalam bentuk diagram seperti pada gambar 4.22.



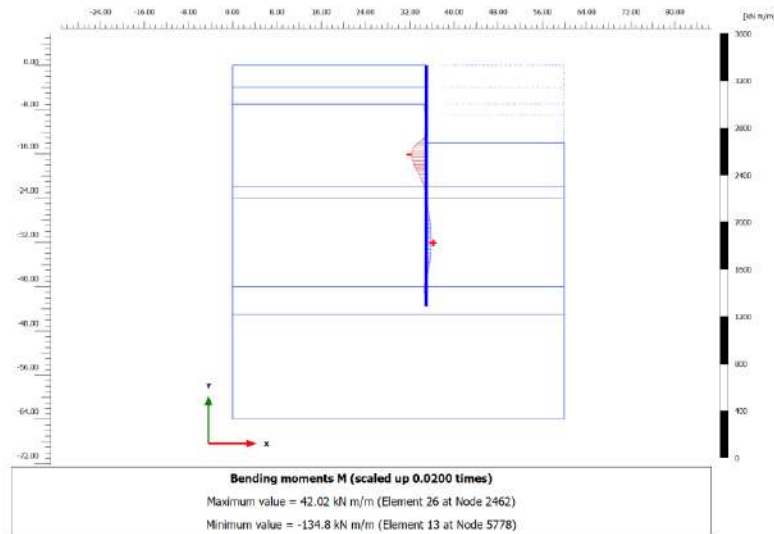
Gambar 4. 22 Deformasi Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Terlihat pada gambar 4.15, bahwasanya arah perpindahan combined wall yaitu arah lateral dan gaya yang bekerja pada combined wall tersebut ialah tekanan tanah lateral. Hasil total displacementnya bernilai positif sebesar 0.1224 m pada elemen 1 dan node 8112.



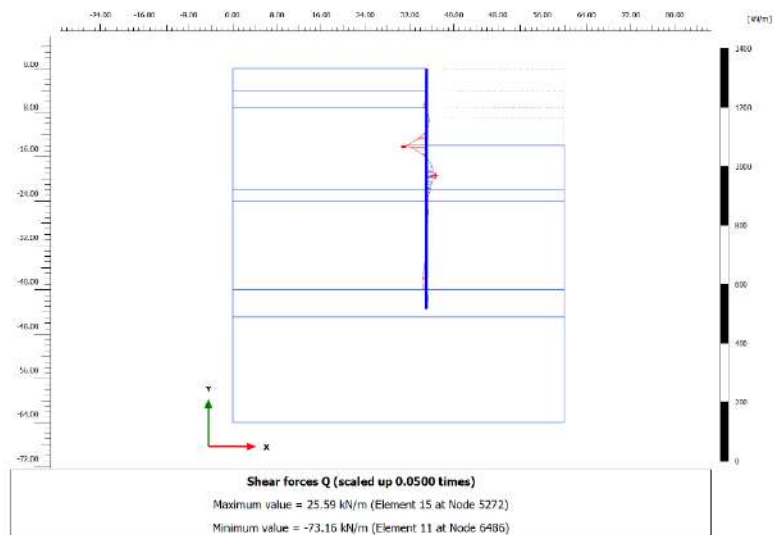
Gambar 4. 23 Axial Forces Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari gambar 4.23, didapatkan nilai maksimum gaya aksial sebesar 0.2249 kN/m pada elemen 1 dan node 8112 serta nilai minimum gaya aksial sebesar -313.4 kN/m pada elemen 12 dan node 6486.



Gambar 4. 24 Bending Moment Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari gambar 4.24, didapatkan bahwa nilai bending moment maksimum sebesar 42.02 kNm/m pada elemen 26 dan node 2462 serta bending moment minimum sebesar -134.8 kNm/m pada elemen 13 dan node 5778.



Gambar 4. 25 Shear Forces Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari gambar 4.25, nilai maksimum shear force sebesar 25.59 kN/m pada elemen 15 dan node 5772 serta minimum sebesar -73.16 kN/m pada elemen 11 node 6486.

Step info				
Phase	Safety Factor [Phase_4]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	True			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	2.000			
Relative stiffness	1.632E-3			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	-0.1184E-3	ΣM_{sf}	2.462
Time	Increment	0.000	End time	0.000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area}	0.9089
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage}	0.000
Forces				
F_x	0.000 kN/m			
F_y	0.000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	42.00 kN/m ²			

Gambar 4. 26 Safety Factor Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari hasil analisa pada gambar 4.26, di dapatkan nilai safety factor sebesar 2.462 dengan relative stiffness sebesar 1.632×10^{-3} . Angka keamanan yang dihasilkan akan dikali dengan hasil perencanaan sebuah struktur sebagai faktor pengali keselamatan struktur tersebut.

4.4.4 Hubungan Combined Wall Dengan Parameter Hasil Analisis Menggunakan 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 4.4.

Tabel 4. 8 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 $\delta h = 0.005 H$ $\delta h = 0.005 (14)$ $\delta = 0.07 \text{ m} \approx 7 \text{ cm}$	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 4.4, 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 4.5.

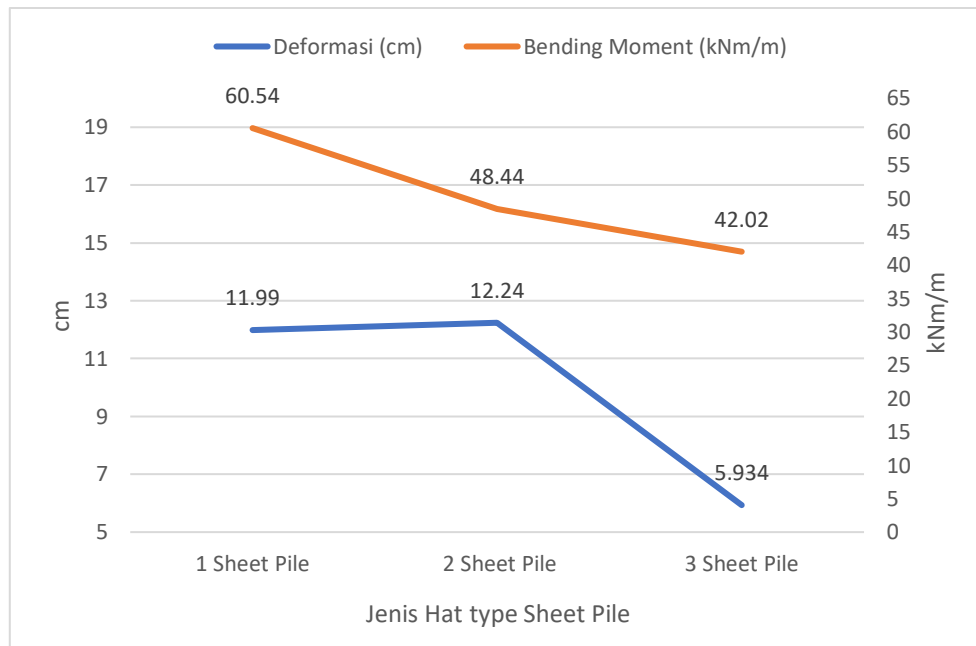
Tabel 4. 9 Tabel hasil analisis combined wall terhadap safety factor

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 ≥ 1.5 (permanen)	Aman
2 Hat type sheet pile	2.480		Aman
3 Hat type sheet pile	2.462		Aman

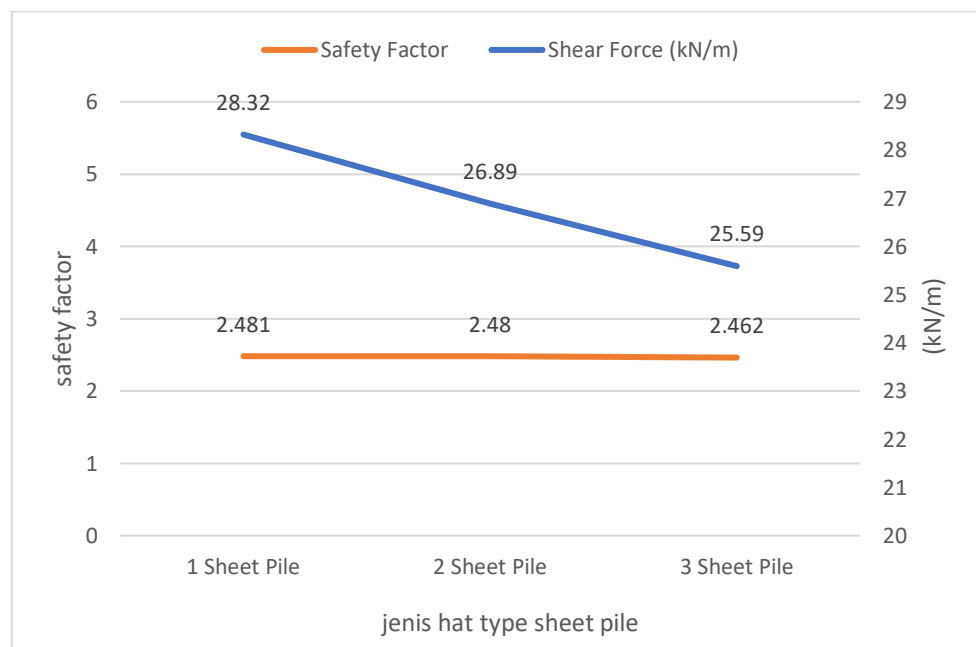
Berdasarkan hasil analisis tabel 4.5, dapat kita ketahui bahwa ketiga tipe combined wall aman secara stabilitas global. Sesuai dengan SNI 8640 : 2017 tentang Perencanaan Geoteknik, angka safety factor pada bangunan permanen ≥ 1.5 . Maka dari itu untuk ketiga tipe combined wall tersebut aman secara stabilitas 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 4.27 dan 4.28.



Gambar 4. 27 Grafik hubungan tipe combined wall dengan deformasi dan bending moment



Gambar 4. 28 Grafik hubungan combined wall dengan shear forces dan safety factor

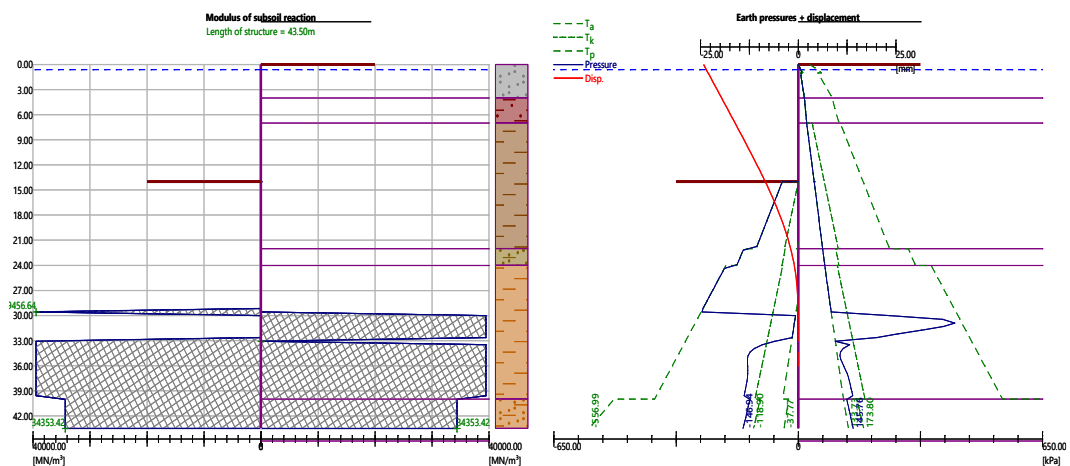
4.5 Analisis Combined Wall Dengan Metode Limit Equilibrium (LEM)

Limit equilibrium method (LEM) adalah salah satu metode untuk menentukan besarnya angka keamanan dari suatu talud/timbunan. Berbeda dengan metode elemen hingga, metode ini tidak mempertimbangkan hubungan tegangan-regangan. Prinsip perhitungan dalam mengasumsikan tegangan geser adalah menggunakan prinsip statik. Tegangan geser yang menahan dan tegangan geser yang terjadi dalam suatu talud/timbunan digunakan dalam menentukan besarnya safety factor (SF).

Dalam penelitian ini akan menggunakan software untuk membantu menganalisa stabilitas lereng. Dalam pemodelan lereng di program ini dibentuk berdasarkan 2 komponen yaitu titik dan region. Titik mewakili sebuah acuan untuk pembuatan geometri untuk membentuk suatu bidang, dan region merupakan bidang untuk mewakili suatu material lapisan material tanah. Analisis dengan metode ini akan memodelkan 3 tipe combined wall sama seperti metode elemen hingga.

4.5.1 Combined Wall: Tubular Pile dengan 1 Hat type sheet pile

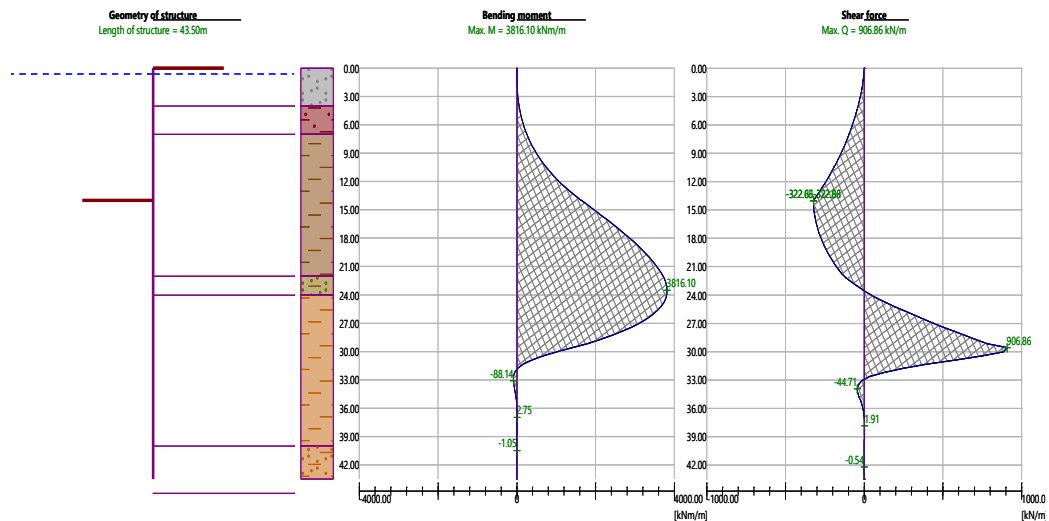
Combined Wall ini memiliki 2 tubular pile dan 1 hat type sheet pile dengan panjang 1.976 m. Combined wall ini berfungsi sebagai objek pembanding dengan nilai momen inersia sebesar $0.002233 \text{ m}^4/\text{m}$. Dalam penelitian ini, gaya-gaya yang berkerja pada combined wall salah satunya tekanan tanah lateral. Yaitu tekanan tanah pada saat diam, tekanan aktif dan tekanan pasif. Yang menyebabkan terjadinya pergeseran/pergerakan dari combined wall. Hal ini di representasikan dalam bentuk diagram seperti terlihat pada gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Tekanan Tanah dan Displacement Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

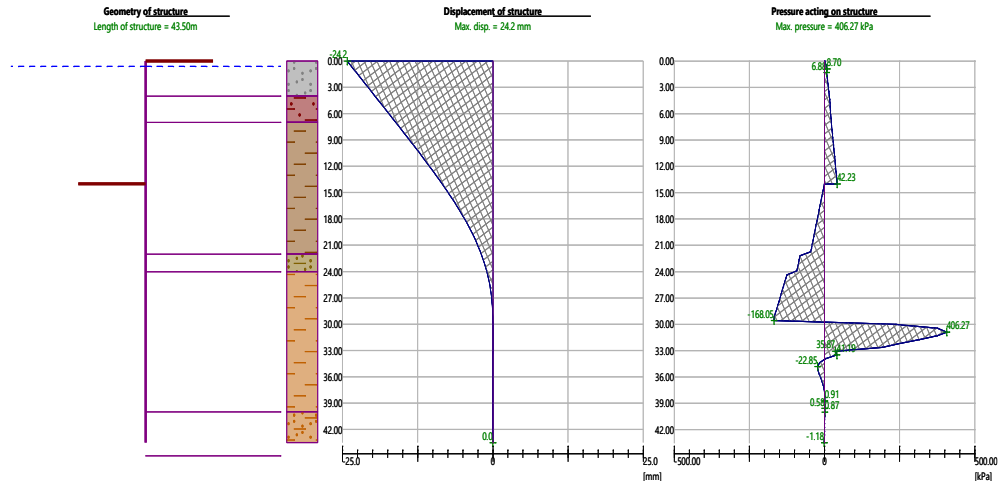
Dari gambar 4.29 diatas, dapat menggambarkan diagram tekanan tanah terhadap combined wall yang dipancang sedalam 43.50 m. Tekanan total maksimal yang terjadi sebesar 145.76 kPa dan tekanan total minimal sebesar -149.94 kPa. Besarnya nilai tekanan pada saat diam adalah 173.80 kPa dan -118.90 kPa. Tekanan tanah aktif maksimum yang terjadi adalah sebesar 133.73 kPa dan minimalnya sebesar -37.77 kPa. Kemudian tekanan tanah pasif yang terjadi sebesar -556.99 kPa.

Analisis menggunakan metode limit equilibrium (LEM) ini juga menghasilkan output bending moment dan shear force sebagai faktor pembengkok dari combined wall tersebut. Hal ini dapat kita lihat seperti pada gambar 4.30.



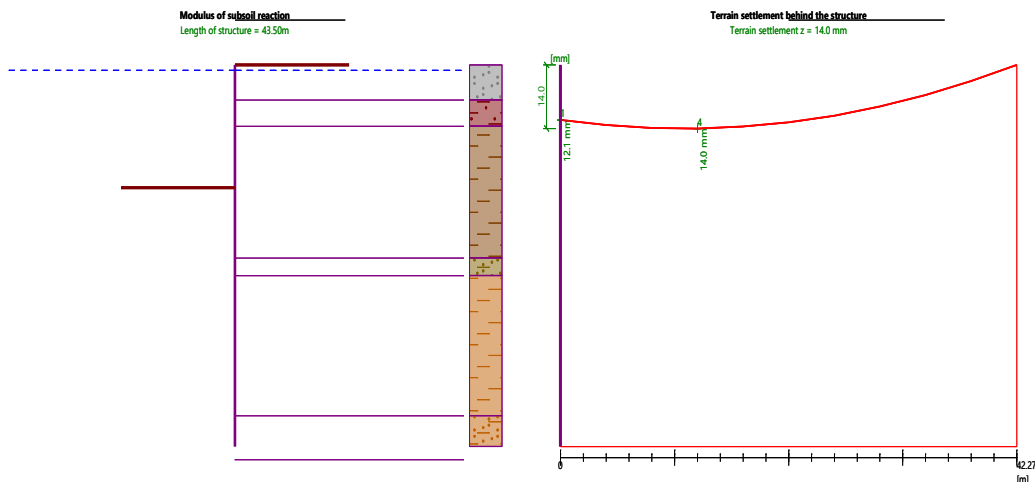
Gambar 4. 30 Bending Moment dan Shear Forces Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Dari diagram yang terdapat pada gambar 4.30 diatas, dapat kita ketahui bahwa nilai maksimum bending moment adalah sebesar 3816.10 kNm/m. Dan nilai maksimum ddari shear force sebesar 906.86 kNm/m. Dari parameter yang telah disebutkan diatas menyebabkan terjadinya pergeseran oleh combined wall. Diagram displacement dan tekanan total yang bertindak pada combined wall terlihat pada gambar 4.31.



Gambar 4. 31 Displacement dan Preassure acting Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Dari gambar 4.31 diatas, menggambarkan diagram pergerakan combined wall akibat gaya-gaya yang bekerja terhadapnya. Displacement combined wall yang terjadi adalah sebesar 24.2 mm yang jika dikonversikan menjadi 2.42 cm. Dan tekanan total sebesar 406.27 kPa. Setelah terjadi pegerakan combined wall maka akan ada penurunan tanah di belakang struktur. Seperti yang terlihat pada gambar 4.32.

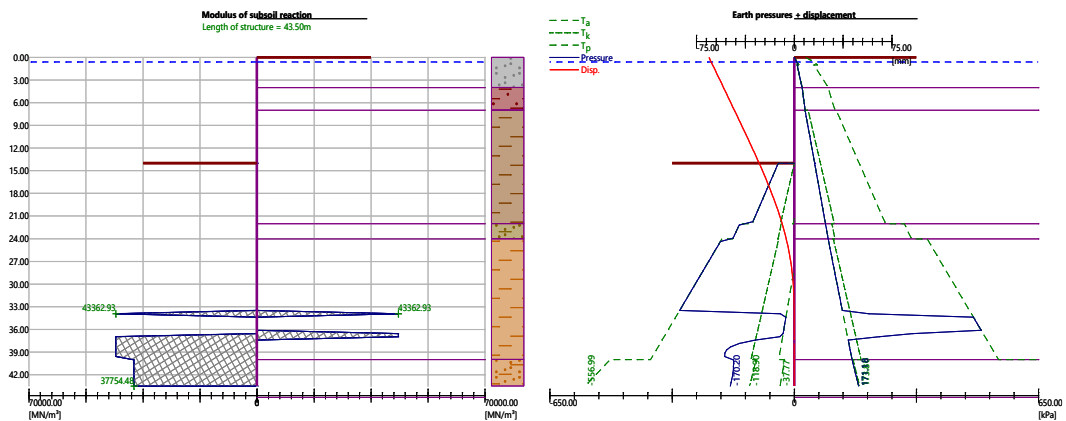


Gambar 4. 32 Terrain Settlement Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Dari pada gambar 4.32 diatas, dapat kita ketahui bahwasanya ada hal yang terjadi akibat pegeseran combined wall. Hal tersebut ialah penurunan tanah dibelakang struktur yang nilainya sebesar 14 mm.

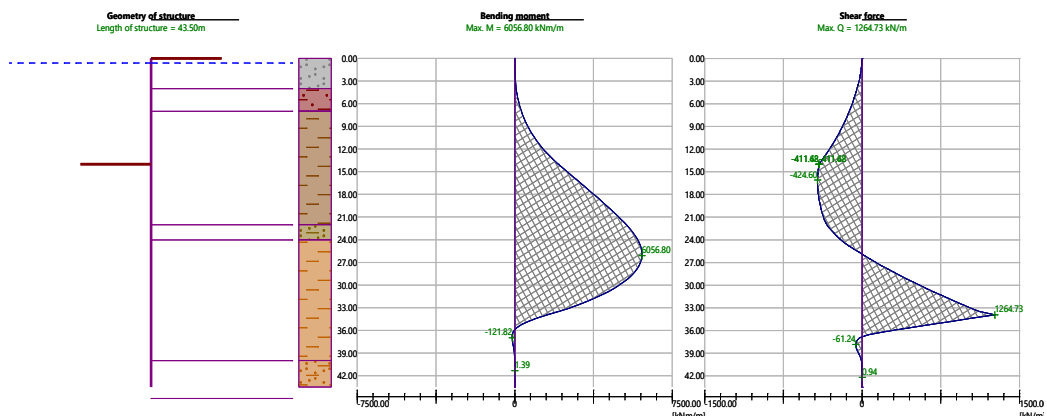
4.5.2 Combined Wall: Tubular Pile dengan 2 Hat type sheet pile

Combined Wall ini memiliki 2 tubular pile dan 1 hat type sheet pile dengan panjang 2.876 m. Combined wall ini berfungsi sebagai objek pembanding dengan nilai momen inersia sebesar $0.0016755 \text{ m}^4/\text{m}$. Displacement dan diagram tekanan total, tekanan pada saat diam, tekanan aktif dan tekanan pasif di gambarkan seperti terlihat pada gambar 4.33.



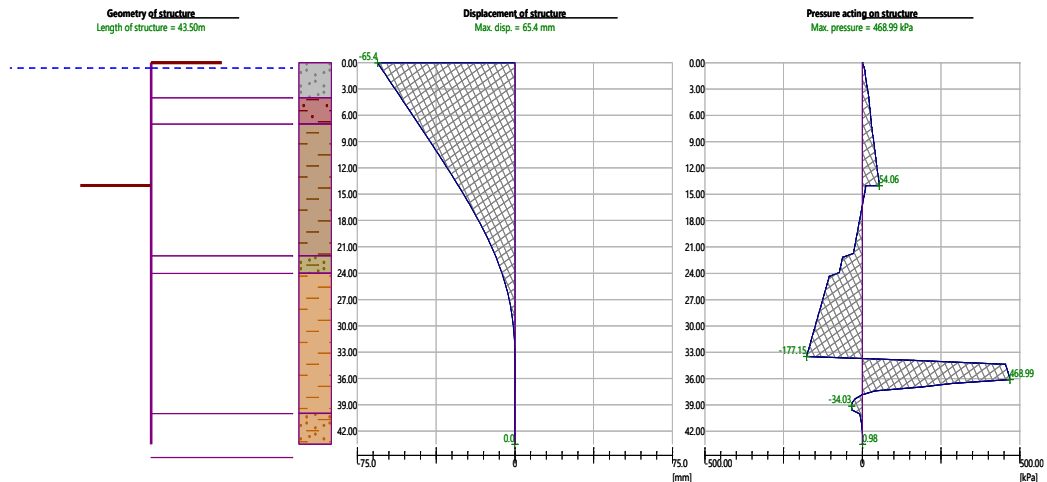
Gambar 4. 33 Tekanan Tanah dan Displacement Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari gambar 4.33 diatas, dapat menggambarkan diagram tekanan tanah terhadap combined wall. Tekanan total maksimal yang terjadi sebesar 171.16 kPa dan tekanan total minimal sebesar -170.20 kPa. Besarnya nilai tekanan pada saat diam adalah 173.80 kPa dan -118.90 kPa. Tekanan tanah aktif maksimum yang terjadi adalah sebesar 133.73 kPa dan minimalnya sebesar -37.77 kPa. Kemudian tekanan tanah pasif yang terjadi sebesar -556.99 kPa. Bending moment dan shear force digambarkan dalam bentuk diagram seperti pada gambar 4.34.



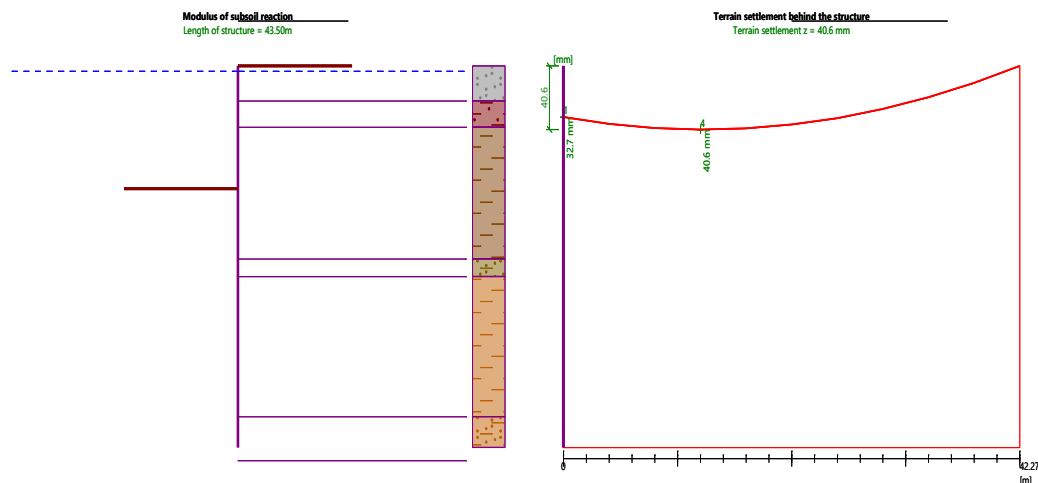
Gambar 4. 34 Bending Moment dan Shear Forces Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari gambar 4.34 diatas, dapat kita ketahui bahwa nilai maksimum bending moment adalah sebesar 6056.80 kNm/m. Dan nilai maksimum ddari shear force sebesar 1264.73 kNm/m. Diagram displacement dan tekanan total yang bertindak pada combined wall terlihat pada gambar 4.35.



Gambar 4. 35 Displacement dan Preassure acting Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari gambar 4.35 diatas, menggambarkan diagram pergerakan combined wall akibat gaya-gaya yang bekerja terhadapnya. Displacement combined wall yang terjadi adalah sebesar 65.4 mm yang jika dikonversikan menjadi 6.54 cm. Dan tekanan total sebesar 468.99 kPa. Setelah terjadi pegerakan combined wall maka akan ada penurunan tanah di belakang struktur. Seperti yang terlihat pada gambar 4.36.

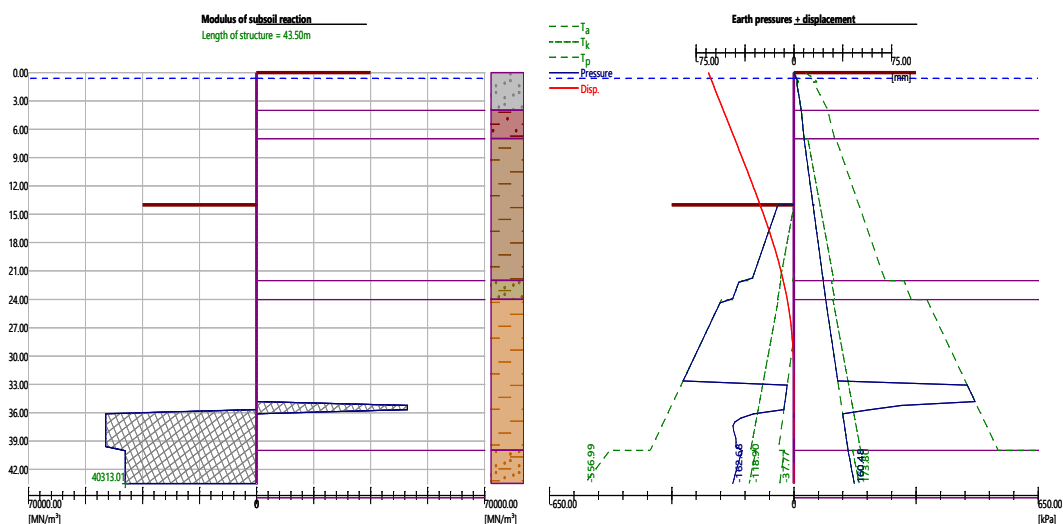


Gambar 4. 36 Terrain Settlement Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari pada gambar 4.36 diatas, dapat kita ketahui bahwasanya ada hal yang terjadi akibat pegeseran combined wall. Hal tersebut ialah penurunan tanah dibelakang struktur yang nilainya sebesar 40.6 mm.

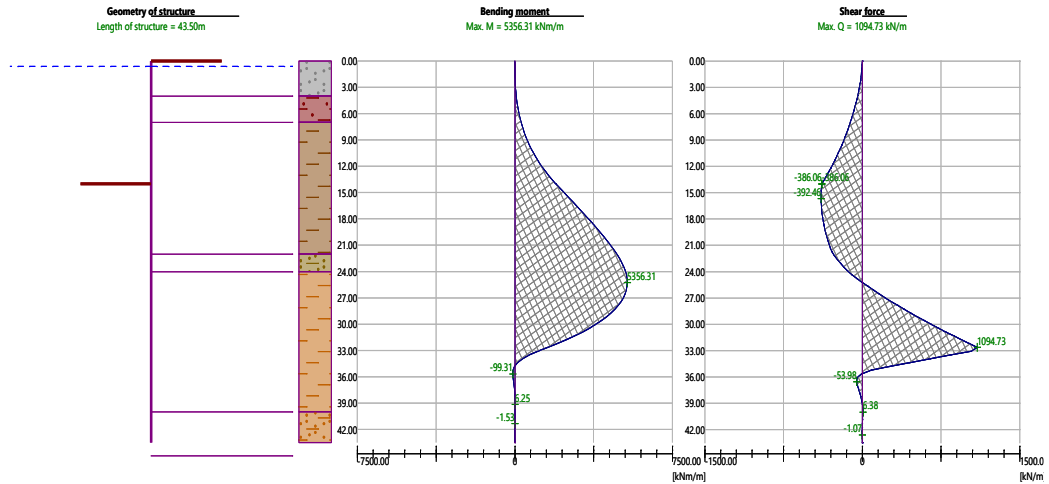
4.5.3 Combined Wall: Tubular Pile dengan 3 hat type sheet pile

Combined Wall ini memiliki 2 tubular pile dan 3 hat type sheet pile dengan panjang 3.776 m. Combined wall ini berfungsi sebagai objek pembanding dengan nilai momen inersia sebesar $0.0013834 \text{ m}^4/\text{m}$. Displacement dan diagram tekanan total, tekanan pada saat diam, tekanan aktif dan tekanan pasif di gambarkan seperti terlihat pada gambar 4.37.



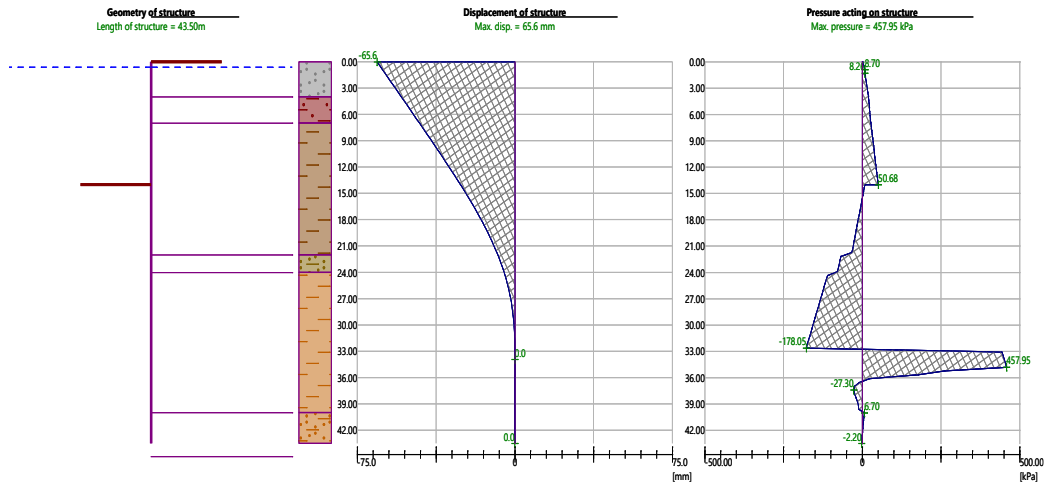
Gambar 4. 37 Tekanan Tanah dan Displacement Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari gambar 4.37 diatas, dapat menggambarkan diagram tekanan tanah terhadap combined wall. Tekanan total maksimal yang terjadi sebesar 160.48 kPa dan tekanan total minimal sebesar -162.68 kPa. Besarnya nilai tekanan pada saat diam adalah 173.80 kPa dan -118.90 kPa. Tekanan tanah aktif maksimum yang terjadi adalah sebesar 133.73 kPa dan minimalnya sebesar -37.77 kPa. Kemudian tekanan tanah pasif yang terjadi sebesar -556.99 kPa. Bending moment dan shear force digambarkan dalam bentuk diagram seperti pada gambar 4.38.



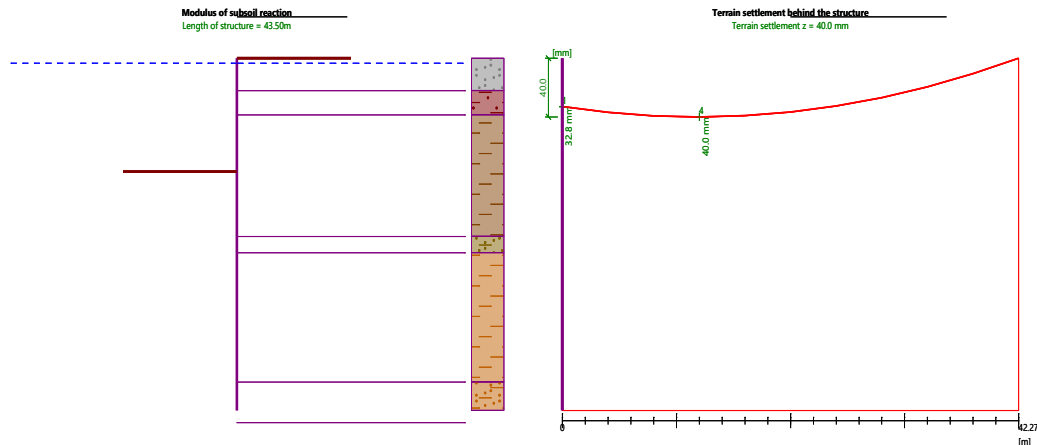
Gambar 4. 38 Bending Moment dan Shear Forces Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari gambar 4.38 diatas, dapat kita ketahui bahwa nilai maksimum bending moment adalah sebesar 5356.31 kNm/m. Dan nilai maksimum ddari shear force sebesar 1094.73 kNm/m. Diagram displacement dan tekanan total yang bertindak pada combined wall terlihat pada gambar 4.39.



Gambar 4. 39 Displacement dan Preassure acting Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari gambar 4.39 diatas, menggambarkan diagram pergerakan combined wall akibat gaya-gaya yang bekerja terhadapnya. Displacement combined wall yang terjadi adalah sebesar 65.6 mm yang jika dikonversikan menjadi 6.56 cm. Dan tekanan total sebesar 457.95 kPa. Setelah terjadi pegerakan combined wall maka aka nada penurunan tanah di belakang struktur. Seperti yang terlihat pada gambar 4.40.



Gambar 4. 40 Terrain Settlement Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari pada gambar 4.40 diatas, dapat kita ketahui bahwasanya ada hal yang terjadi akibat pegeseran combined wall. Hal tersebut ialah penurunan tanah dibelakang struktur yang nilainya sebesar 40 mm.

4.5.4 Hubungan Combined Wall Dengan Parameter Hasil Analisis Menggunakan 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 4.6.

Tabel 4. 10 Hasil Analisis Combined Wall terhadap Deformasi

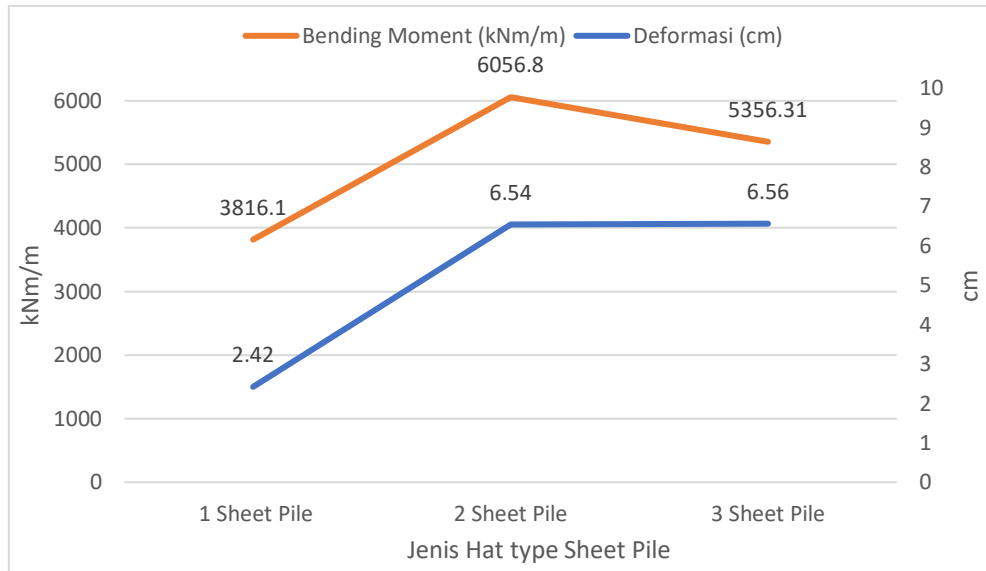
Tipe Combined Wall	Deformasi	SNI 8640 : 2017 Perencanaan Geoteknik	Keterangan
1 Hat type sheet pile	2.42	Defleksi yang diizinkan maksimal sebesar $\delta h = 0.005 H$ $\delta h = 0.005 (14)$ $\delta = 0.07 \text{ m} \approx 7 \text{ cm}$	Aman
2 Hat type sheet pile	6.54		Aman
3 Hat type sheet pile	6.56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

Dari hasil analisis yang terangkum dalam tabel 4.6, 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 4.7.

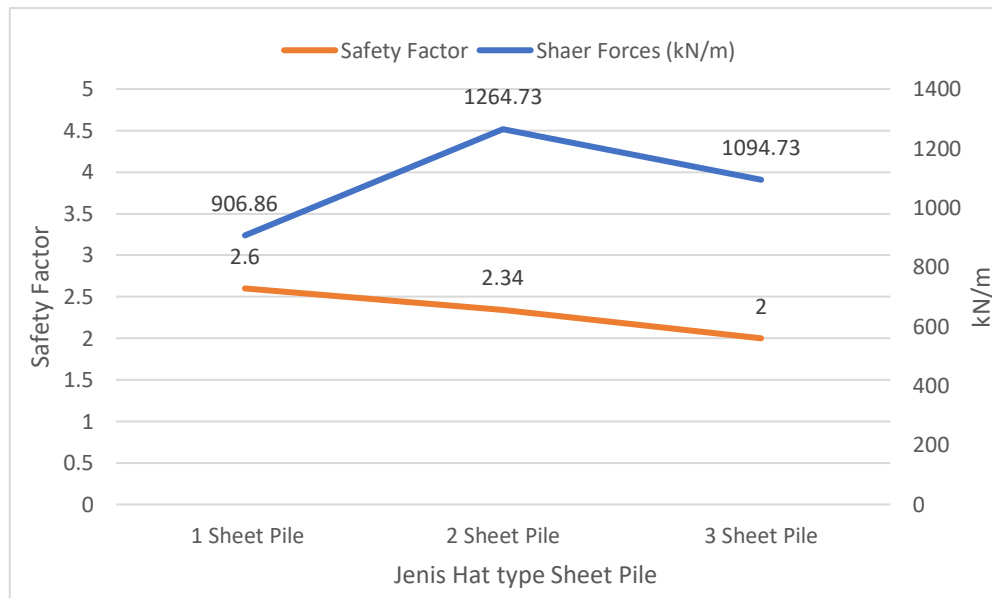
Tabel 4. 11 Hasil Analisis Combined Wall terhadap Safety Factor

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 ≥ 1.5 (permanen)	Aman
2 Hat type sheet pile	2.34		Aman
3 Hat type sheet pile	2		Aman

Berdasarkan hasil analisis tabel 4.7, 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 4.41 dan 4.42.



Gambar 4. 41 Grafik Hubungan Combined Wall dengan Bending Moment dan Deformasi



Gambar 4. 42 Grafik Hubungan Tipe Combined Wall dengan Shear Force dan Safety Factor

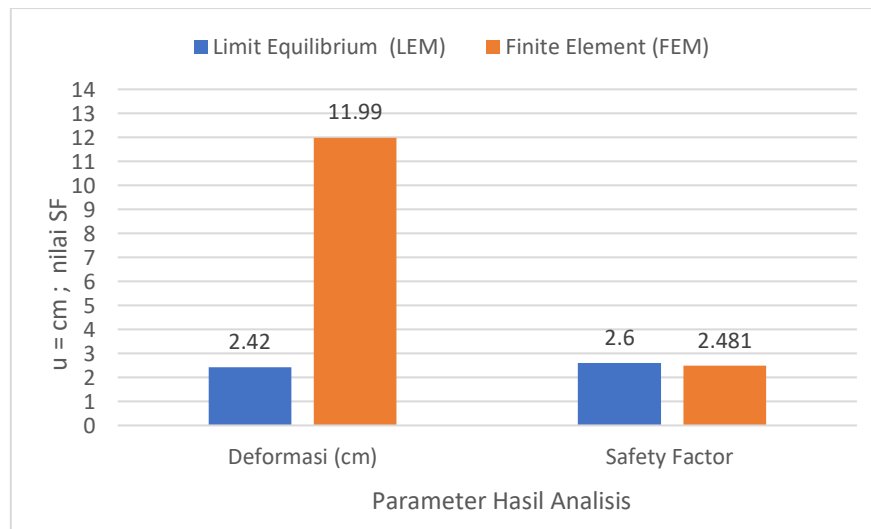
4.6 Perbandingan Analisis Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) dan Limit Equilibrium (LEM)

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.

4.6.1 Combined Wall : Tubular Pile dengan 1 hat type sheet pile

Perbandingan metode analisis deformasi dan safety factor terhadap Combined Wall yang terdiri dari tubular pile dan 1 hat type dapat kita lihat seperti pada gambar 4.43.

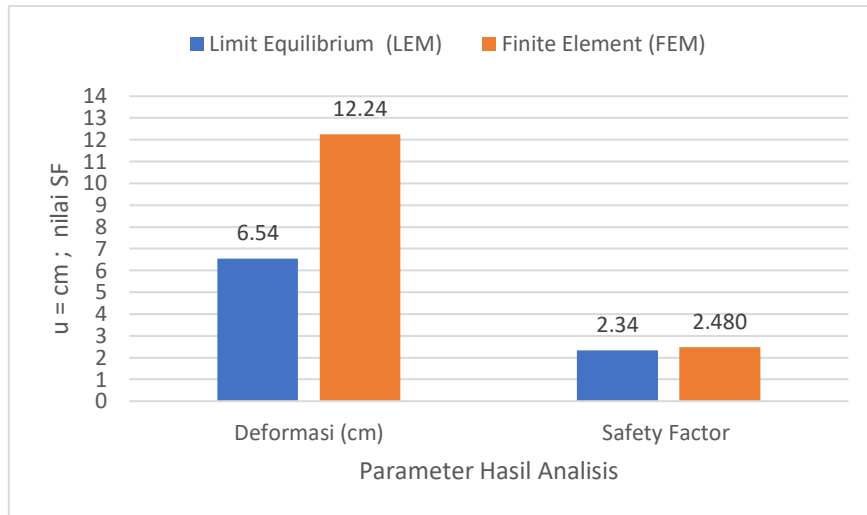


Gambar 4. 43 Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 1 hat type sheet pile

Dari diagram batang pada gambar 4.43 diatas, analisis menggunakan metode limit equilibrium (LEM) yang deformasi sebesar 2.42 cm serta safety factor sebesar 2.6. Selanjutnya analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) memiliki deformasi sebesar 11.99 cm dan safety factor sebesar 2.481.

4.6.2 Combined Wall : Tubular Pile dengan 2 hat type sheet pile

Perbandingan metode analisis deformasi dan safety factor terhadap Combined Wall yang terdiri dari tubular pile dan 2 hat type dapat kita lihat seperti pada gambar 4.44.

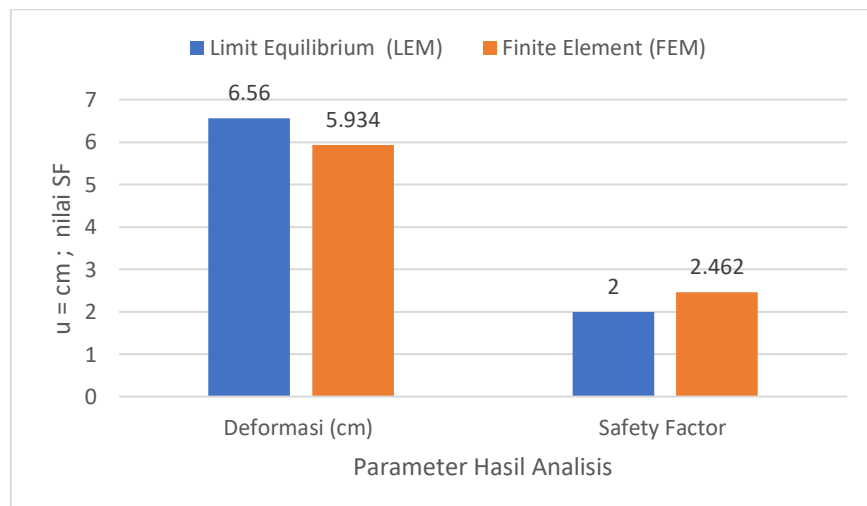


Gambar 4. 44 Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 2 hat type sheet pile

Dari diagram batang pada gambar 4.44 diatas, analisis menggunakan metode limit equilibrium (LEM) yang deformasi sebesar 6.54 cm serta safety factor sebesar 2.34. Selanjutnya analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) memiliki deformasi sebesar 12.24 cm dan safety factor sebesar 2.480.

4.6.3 Combined Wall : Tubular Pile dengan 3 hat type sheet pile

Perbandingan metode analisis deformasi dan safety factor terhadap Combined Wall yang terdiri dari tubular pile dan 3 hat type dapat kita lihat seperti pada gambar 4.45.



Gambar 4. 45 Perbandingan Metode Analisis Combined Wall dengan 3 hat type sheet pile

Dari diagram batang pada gambar 4.44 diatas, analisis menggunakan metode limit equilibrium (LEM) yang deformasi sebesar 6.56 cm serta safety factor sebesar 2.00. Selanjutnya analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) memiliki deformasi sebesar 5.934 cm dan safety factor sebesar 2.462.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. 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.

2. 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

3. Perbandingan anantara 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.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini penulis memberikan saran yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Dalam tugas akhir ini, jika terdapat hasil yang kurang sesuai diharapkan agar dapat diskusi dengan penulis. Apabila nilai yang didapatkan jauh dari hasil yang ada.
2. Diharapkan tugas akhir ini dapat diteruskan untuk mendapatkan hasil perbandingan terhadap desain *combined wall* lainnya.
3. Diharapkan tugas akhir ini dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- ArcelorMittal SheetPile. (n.d.). *Tubular combined wall systems*. 1–40.
- Bentley. (2020). *PLAXIS 2D-Reference Manual CONNECT Edition 20.04*. 1–570.
- Bowles, J. E. (1997). *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1* (Keempat, Issue 9). Erlangga.
- Bowles, J. E. (2005). Analisis Dan Desain Pondasi II. *Erlangga, Jakarta*, 2, 474.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah Jilid 2 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. In *Erlangga*.
- Das, B. M. (2007). *Principles of Foundation Engineering, SI Seventh Edition* (T. Altieri (ed.); Sevent). Global Engineering.
- 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 Tegangan-Perpindahan dan Faktor Keamanan (SF) Pada Lereng Miring Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Plaxis 8.2*.
- Hamdhan, I. N., & Pratiwi, D. S. (2017). Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsor 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.
- Kementrian PUPR. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik*.
- Melinda, A. A., & Jainta, J. R. (2015). *Perencanaan Perkuatan Tebing Sungai Musi Desa Bailangu Barat Kab. Musi Banyuasin*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Nurtanti, E. Z., Purwanto, E., Program, M., Teknik, S., Pengajar, S., Studi, P., Sipil, T., & Indonesia, I. (2013). *PENAHAN TANAH BETON BERTULANG DAN DINDING TURAP BAJA DENGAN PROGRAM PLAXIS 8 . 6 PADA SUNGAI PABELAN*.

- Pranata, H. (2010). *ANALISIS DINDING PENAHAN TANAH DENGAN PERHITUNGAN MANUAL DAN KONTROL GAYA-GAYA DALAM YANG BEKERJA PADA DINDING PENAHAN TANAH DENGAN METODE SAP2000 PLANE-STRAIN.*
- Sebayang, E. A. (2014). *Perencanaan stabilitas lereng dengan sheet pile dan perkuatan geogrid menggunakan metode elemen hingga.*
- 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.*

LAMPIRAN

a. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan perancangan dan analisa dilakukan selama 6 bulan setelah proposal tugas akhir disetujui.

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi literatur	■	■	■			
2	Analisa Kondisi Tanah dan Parameter Input Software		■	■			
3	Analisa Desain Combined Wall			■			
4	Pemodelan Metode FEM dan LEM dengan bantuan Software			■	■		
5	Evaluasi				■	■	
6	Hasil dan Kesimpulan						■

b. Data Pengujian Lapangan Bor Mesin dan SPT

Metode Pelaksanaan Bor Mesin Pemboran dilaksanakan sedemikian rupa dengan menggunakan mata bor widia (waja lunak) untuk lapisan tanah lunak (lempung, pasir dan lanau) sehingga diperoleh contoh tanah yang maksimum dan untuk lapisan tanah yang keras (batuan) memakai mata bor intan. Dan pada tanah kohesif dan mudah lepas, lubang bor dipasang casing sedemikian rupa sehingga tidak terjadi keruntuhan dan contoh tanah asli dapat diambil pada setiap yang diinginkan.. Metode Pelaksanaan Standard Penetration Test (SPT). Nilai SPT dicatat melalui jumlah pukulan (N Value) untuk setiap penetrasi 30 cm (Blows Perfoot). Penumbukan jenis Automatic Trip Mechanics dengan berat 63,5 kg yang menjamin gerakan jatuh bebas dengan tinggi jatuh yang tetap dan teratur setinggi 0,75 meter. Jumlah tumbukan untuk setiap 15 cm penetrasi sedalam 45 cm. Tabung contoh “Split Barrel” dipakai untuk mendapatkan contoh tanah untuk keperluan identifikasi dan untuk mengukur tahanan tanah yang ditembus.. Hasil pengetesan dituangkan dalam boring log.

c. Analisis Momen Inersia Combined Wall

• Unit weight $W = 0.02466(D-t)t$ (kg/m)	• Section modulus $Z = \frac{\pi}{32} \frac{(D-2S)^4 - (D-2t)^4}{D-2S} \times 10^{-9}$ (m ³)	D: Outside diameter (mm)
• Sectional area $A = \frac{\pi}{4} \{(D-2S)^2 - (D-2t)^2\} \times 10^{-6}$ (m ²)	• Radius of gyration of area $i = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + (D-2t)^2}$ (mm)	t: Thickness (mm)
• Geometrical moment of inertia $I = \frac{\pi}{64} \{(D-2S)^4 - (D-2t)^4\} \times 10^{-12}$ (m ⁴)		S: Corrosion allowance (mm)

$$I_{sys} = \frac{I_{king\ pile} + I_{sheet\ pile}}{b_{sys}}$$

$$W_{sys} = \frac{W_{king\ pile}}{b_{sys}} \cdot \left(\frac{I_{king\ pile} + I_{sheet\ pile}}{I_{king\ pile}} \right)$$

with

I_{sys}	Moment of inertia of the system	[cm ⁴ /m]
$I_{king\ pile}$	Moment of inertia of the king pile	[cm ⁴]
$I_{sheet\ pile}$	Moment of inertia of the sheet pile	[cm ⁴]
W_{sys}	Elastic section modulus of the system	[cm ³ /m]
$W_{king\ pile}$	Elastic section modulus of the king pile	[cm ³]
b_{sys}	System width	[m]

Spesifikasi Tubular Pile

D	t	I	W _{el}	A	G
mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm ²	kg/m
864	10	244620	5665	268.3	210.6
864	12	291510	6750	321.2	252.1
864	14	337720	7820	373.8	293.5
914	10	290150	6350	284	222.9
914	12	345890	7570	340	266.9
914	14	400890	8770	395.8	310.7

Spesifikasi Hat type Sheet Pile

Type	Dimension			Per pile			
	Effective width	Effective height	Thickness	Sectional area	Moment of inertia	Section modulus	Unit mass
	W	h mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	kg/m
NS-SP-10H	900	230	10.8	110.0	9430	812	86.4
NS-SP-25H	900	300	13.2	144.4	22000	1.45	113

NS-SP-45H	900	368	15	187	40500	2.2	147
NS-SP-50H	900	370	17	212.7	46000	2.49	167

1. Combined Wall 2 buah Tubular pile sebagai kolom dan 3 buah Hat type - Sheet Pile sebagai dinding.

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 45H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	3.718	98472.297
2	864	12	3.722	110964.535
3	864	14	3.726	123247.450
4	914	10	3.768	109248.938
5	914	12	3.772	123910.392
6	914	14	3.776	138344.809
			A =	1352.600
			W =	19419.212

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 10H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	3.718	73402.367
2	864	12	3.722	85921.548
3	864	14	3.726	98231.347
4	914	10	3.768	84511.677
5	914	12	3.772	99199.364
6	914	14	3.776	113659.958

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 25H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	3.718	83544.917
2	864	12	3.722	96053.197
3	864	14	3.726	108352.120
4	914	10	3.768	94519.639
5	914	12	3.772	109196.713
6	914	14	3.776	123646.716

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 50H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	3.718	102910.167
2	864	12	3.722	115397.636
3	864	14	3.726	127675.792
4	914	10	3.768	113627.919
5	914	12	3.772	128284.730
6	914	14	3.776	142714.513

2. Combined Wall 2 buah Tubular pile sebagai kolom dan 2 buah Hat type - Sheet Pile sebagai dinding.

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 45H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	2.818	115550.035
2	864	12	2.822	132002.126
3	864	14	2.826	148167.021
4	914	10	2.868	129410.739
5	914	12	2.872	148638.579
6	914	14	2.876	167555.633
			A =	1165.6
			W =	18013.89533

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 10H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	2.818	93498.935
2	864	12	2.822	109982.282
3	864	14	2.826	126178.344
4	914	10	2.868	107744.073
5	914	12	2.872	127002.089
6	914	14	2.876	145949.235

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 25H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	2.818	102420.156
2	864	12	2.822	118890.858
3	864	14	2.826	135074.310

4	914	10	2.868	116509.763
5	914	12	2.872	135755.571
6	914	14	2.876	154690.542

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 50H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm4/m
1	864	10	2.818	119453.513
2	864	12	2.822	135900.071
3	864	14	2.826	152059.448
4	914	10	2.868	133246.165
5	914	12	2.872	152468.663
6	914	14	2.876	171380.389

3. Combined Wall 2 buah Tubular pile sebagai kolom dan 1 buah Hat type - Sheet Pile sebagai dinding.

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 45H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm4/m
1	864	10	1.918	148654.849
2	864	12	1.922	172741.935
3	864	14	1.926	196375.909
4	914	10	1.968	168013.211
5	914	12	1.972	195938.134
6	914	14	1.976	223375.506
			A =	978.6
			W =	15328.432

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 10H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm4/m
1	864	10	1.918	132455.683
2	864	12	2.822	106640.680
3	864	14	2.826	122841.472
4	914	10	2.868	104456.067
5	914	12	2.872	123718.663
6	914	14	2.876	142670.376

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 25H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	1.918	139009.385
2	864	12	2.822	111094.968
3	864	14	2.826	127289.455
4	914	10	2.868	108838.912
5	914	12	2.872	128095.404
6	914	14	2.876	147041.029

No	Section		Dengan sheet Pile NS SP 50H	
	Tubular pile (SPP)		Bsys	Inersia
	D	t	m	cm ⁴ /m
1	864	10	1.918	151522.419
2	864	12	1.922	175603.538
3	864	14	1.926	199231.568
4	914	10	1.968	170807.927
5	914	12	1.972	198727.181
6	914	14	1.976	226158.907

d. Dokumentasi



Pekerjaan Bore Mesin BH - 1 (Laut)



Pekerjaan Bore Mesin BH - 2 (Laut)



Pekerjaan Bore Mesin BH - 3 (Laut)



Pekerjaan Bore Mesin BH - 4 (Laut)



Pembuatan Perancah



Sample Dalam Core Box BH-1 Laut (25.00 - 30.00 M)



Sample Dalam Core Box BH-2 Laut (25.00 - 30.00 M)



Sample Dalam Core Box BH-3 Laut (25.00 - 30.00 M)



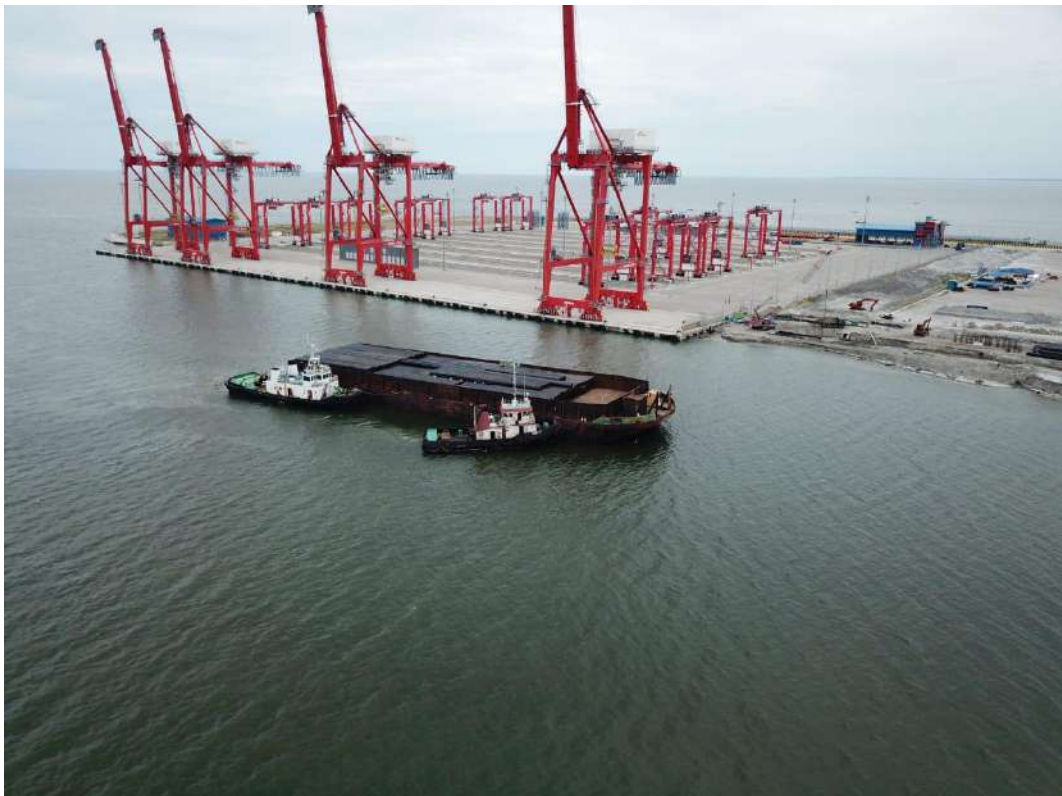
Sample Dalam Core Box BH-4 Laut (25.00 - 30.00 M)



Layout Fase 1



Pembongkaran Drainase Eksisting



Shipment Sheet Pile



Coating Material Sheet Pile



Pemancangan Sheet Pile

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Nurul Wahidah Siregar
Panggilan : Nurul
Tempat, Tanggal Lahir : Padang Sidempuan, 9 Juni 1999
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jalan Denai Gg. Lima No. 7B Medan
Agama : Islam

Nama Orang Tua
Ayah : Muhammad Azhary Siregar
Ibu : Hemalina Sari Gultom
No.HP : 082267564281
E-Mail : wahidahuul123@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1707210172
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Muhammadiyah 1 Medan	2011
2	SMP	SMP Muhammadiyah 1 Medan	2014
3	SMA	SMP Muhammadiyah 1 Medan	2017
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2017 sampai selesai.		