

ANALISA PENGARUH PERUBAHAN MUKA AIR SUNGAI TERHADAP KEDALAMAN RANCANGAN DAN STABILITAS STEEL COMBINED RETAINING WALL

Satriawan Hendriantono¹⁾, Paksitya Purnama Putra^{2)*}, & Luthfi Amri Wicaksono³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

*Email korespondensi : paksitya.putra@unej.ac.id

ABSTRAK

PT. Bio Inti Agrindo merupakan perusahaan yang bergerak di bidang agro industri. Perusahaan ini memerlukan pengembangan dermaga pelabuhan pada area bibir Sungai Maro, Kabupaten Merauke, Papua. Letak terminal yang dekat dengan laut membuat air sungai mengalami pasang surut. Pengembangan dermaga direncanakan dengan melakukan penimbunan tanah pada bibir sungai dengan perkuatan *steel combined retaining wall*. Pada penelitian ini dilakukan analisa kebutuhan kedalaman serta stabilitas tiang terhadap perubahan muka air sungai. Analisa *safety factor* dan kebutuhan kedalaman dilakukan dengan menggunakan program bantu GEO 5 dan metode FMM (*factored moment method*). Hasil menunjukkan bahwa semakin surut muka air sungai, maka semakin dalam kebutuhan kedalaman tiang. Untuk mencapai kebutuhan stabilitas tiang maka kedalaman tiang diambil sebesar 8,2 m dengan nilai *safety factor* sebesar 2,33. Penentuan profil dilakukan berdasarkan momen maksimal yang bekerja. Penurunan timbunan juga dianalisis dengan bantuan program plaxis dengan nilai yang didapatkan sebesar 0,857 cm.

Kata kunci : Perencanaan dinding penahan, *steel combined retaining wall*, *sheet pile*.

ABSTRACT

PT. Bio Inti Agrindo is a company engaged in the agro-industry sector. This company requires the development of a port pier on the edge of the Maro River, Merauke Regency, Papua. The location of the port which is close to the sea makes the river water experience ups and downs. The development of the port is planned by stockpiling soil on the riverbank with steel combined retaining wall reinforcement. In this study, an analysis of the depth requirements and the stability of the pile against changes in the river water level was carried out. Safety factor analysis and depth requirements are carried out using the GEO 5 program and the FMM (*factored moment method*) method. The results show that the lower the river water level, the deeper the pile depth required. To achieve the required pile stability, the pile depth is taken at 8.2 m with a safety factor value of 2.33. The pile profile is determined based on the maximum working moment. The embankment settlement was also analyzed with the help of the plaxis program with a value of 0.857

Keywords : Earth retaining wall design, *steel combined retaining wall*, *sheet pile*.

1. PENDAHULUAN

PT. Bio Inti Agrindo bergerak terutama di bidang usaha agro industri. Komoditas utama yang dikelola PT. Bio Inti Agrindo yaitu kelapa sawit. Untuk menunjang semua kebutuhan transportasi serta kebutuhan bongkar muat produk hasil perkebunan dan kebutuhan pokok di areal pelabuhan, maka PT. Bio Inti Agrindo merencanakan pengembangan kawasan terminal khususnya yang ada di Desa Asikie, Distrik Jair, Kabupaten Boven Digoel, Provinsi Papua. Pengembangan kawasan dilakukan pada bagian dermaga yang merupakan tepi Sungai Maro. Oleh sebab itu, perluasan dilakukan dengan cara memberikan timbunan tanah pada daerah tepi sungai sehingga dapat memperluas area daratan. Penimbunan tanah pada tepi sungai perlu diperkuat dengan dengan metode khusus agar tanah timbunan tidak longsor dan tidak tergerus air sungai. Penggunaan metode perkuatan *sheet pile* dipilih dengan pertimbangan perkuatan tersebut dapat meminimalisir rembesan air sungai yang dapat menyebabkan erosi dan perlemahan tanah, selain itu metode tersebut dapat menahan beban yang cukup besar dengan deformasi yang relatif kecil (Nurdianti, 2016).

Terminal pelabuhan dibangun pada muara Sungai Maro. Karena berada pada muara sungai, maka muka air sungai akan dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Perubahan muka air sungai tentunya dapat mempengaruhi stabilitas *sheet pile* karena terdapat perbedaan tegangan yang bekerja (Andriani, 2021). Analisa dan rancangan desain akan dilakukan dibantu menggunakan program bantu GEO 5 dan Plaxis. Program ini digunakan sebagai alat untuk mempermudah perencanaan dan perhitungan safety factor yang nantinya dapat memberi gambaran perihail kestabilan lereng yang telah dirancang.

Timbunan atau *backfill* pada dinding penahan tanah juga memerlukan analisa terhadap penurunan. Analisa tersebut diperlukan dikarenakan penurunan yang berlebih dapat membuat area perluasan tidak dapat digunakan secara optimal atau bahkan tidak dapat digunakan samasekali. Analisa penurunan timbunan mengacu kepada SNI 8460:2017 tentang persyaratan perencanaan geoteknik.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Dinding Penahan Tanah

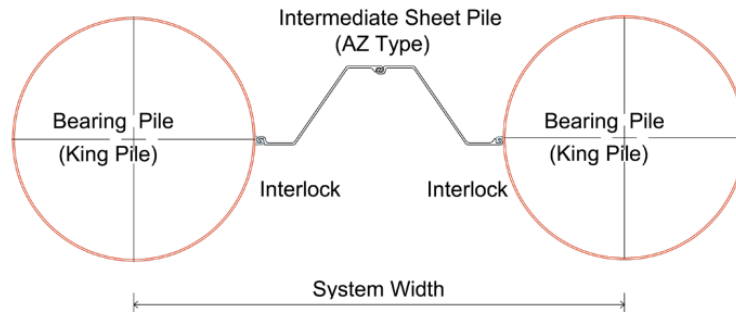
Dinding penahan tanah (*gavity wall*) dan semi gravitasi merupakan dinding penahan tanah yang terbuat dari pasangan batu kali atau beton, dimana stabilitasnya sangat terpengaruh pada berat dinding itu sendiri dan massa tanah yang menyalurkan beratnya pada dinding tersebut. Dibahas dalam sub-bab ini meliputi dinding penahan tanah kantilever (*cantilever retaining wall*), dan dinding penahan tanah kantilever dengan pengaku pada depan dinding vertikal (*buttress*) dan pada bagian belakang dinding penahan tanah vertikal (*counterfort*).

Embedded walls merupakan struktur penahan tanah yang stabilitasnya sebagian besar atau bahkan seluruhnya didapatkan dari tahanan tanah pasif yang berada di dasar galiandinding penahan. *Embedded walls* ini bisa terdiri atas barisan tiang pancang/tiang bor tunggal, dengan konstruksi bersinggungan, maupun yang saling bersinggungan, atau bahkan saling berpotongan. Bentuk lain dari *embedded walls* dapat berupa rangkaian *panel/sheet* yang disusun saling mengunci sehingga membentuk pembatas/dinding. *Embedded walls* hampir semuanya dibuat vertikal. Hal tersebut merupakan kelebihan *embedded walls* yaitu penghematan ruang.

2.2 Tube-Cell Combi Wall

Tube-cell combi wall tersusun atas pipa ber diameter cukup besar (D) yang bisa juga disebut sebagai King Pile, sehingga memiliki kekuatan dan kekakuan yang cocok digunakan sebagai struktur penahan beban pada dinding penahan tanah. Ukuran diameter pipa tersebut

tergantung kepada penggunaanya, dan juga jarak antar pipa penahan. Diantara pipa tersebut terdapat intermediary sheet piles yang bertindak sebagai dinding yang menahan tanah. (Gambar 1).



Gambar 1 Sketsa potongan dinding penahan tanah

Desain dinding penahan tanah menggunakan *combi wall* sering digunakan dalam perkuatan tanah pada dermaga, terowongan bawah tanah, dan abutmen jembatan. Hal tersebut dikarenakan fleksibilitas dalam desain ukuran dan kekuatannya, dan juga kemudahan dalam proses instalasi dinding penahan tanah *tube-cell combined wall*. Dengan alasan tersebut dalam penelitian ini direncanakan dinding penahan tanah dengan *combi wall*.

2.3 Faktor Stabilitas Lereng

Lereng dapat dibedakan sesuai dengan kemiringan lerengnya, Berikut tabel kemiringan lereng menurut SNI. Faktor keamanan pada lereng terhadap terjadinya longsor yang terjadi akibat beban sendiri maupun pengaruh dari beban lain (Bowles, 1988). Untuk itu angka keamanan lereng dijabarkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria kelayakan

Kelas	Kemiringan Lereng (%)	Skor
Datar	< 8	5
Landai	8 – 15	4
Agak Curam	16 – 25	3
Curam	26 – 40	2
Sangat Curam	> 40	1

Sumber; SNI 8460:2017

Faktor keamanan lereng yang direkomendasikan dalam analisis stabilitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai faktor keamanan tersebut didasarkan pada kemungkinan terjadinya kelongsoran pada lereng yang akan direncanakan.

Tabel 2 Tabel acuan SF

Nilai SF	Longsoran
<1,07	Kelongsoran bisa terjadi
1,07<SF<1,25	Kelongsoran pernah terjadi
>1,25	Kelongsoran jarang terjadi

Sumber: SNI 8460:2017

Menurut pertimbangan biaya dan konsekuensi dari kegagalan dinding penahan tanah, *Safety factor* lereng yang dapat dipilih untuk analisa kestabilan lereng tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai SF untuk lereng tanah berdasarkan biaya konsekuensi

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah	Tinggi
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	< 2,0

Sumber: SNI 8460:2017

2.4 Program Bantu GEO 5

Program Geo 5 merupakan program permodelan dan analisa menggunakan analisa *finite element* atau analisa elemen hingga yang dapat membantu melakukan analisa permodelan geoteknik khususnya dalam perencanaan teknik sipil. Program Geo 5 menyediakan banyak variasi jenis data dalam analisa teknik mengenai penurunan, tegangan-tegangan yang ada di dalam tanah, dan banyak hal lain. Program ini didesain untuk dapat memodelkan keadaan yang akan dianalisis (Christian Sakti Hotasi, 2019). Program Geo 5 yang nantinya digunakan dalam perencanaan dinding penahan tanah yaitu Geo 5 *sheeting design*, dan *slope stability*.

2.5 Penurunan Tanah

Pada saat lapisan tanah diberi pembebanan akan terjadi regangan atau penurunan (*settlement*). Penurunan tersebut diakibatkan perubahan susunan tanah dan berkurangnya rongga pori di dalam tanah. jumlah perubahan regangan tanah itulah yang disebut penurunan (Hakim, 2019). Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan halus kering atau jenuh terjadi secara langsung. Penurunan tersebut dinamakan *immediate settlement*, sedangkan penurunan yang terjadi dikarenakan konsolidasi dinamakan *consolidation settlement*. Penurunan secara langsung merupakan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu 7 (tujuh) hari setelah terjadi pembebanan. (Bowles, 1988).

2.6 Program Bantu Plaxis

Plaxis 2D adalah program *finite element analysis* yang digunakan dalam pemodelan dan perhitungan penurunan tanah. dalam berbagai studi kasus, program tersebut digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas tanah. kondisi eksisting tanah dimodelkan dengan model *plane strain* maupun dengan *axisymmetric*. Plaxis 2D menyediakan beberapa jenis pemodelan untuk mensimulasikan bagaimana respon lapisan tanah jika diberi beban.

Pemodelan *Mohr-Collomb* digunakan sebagai perkiraan awal dari respon tanah secara umum. Dalam pemodelan tersebut digunakan parameter modulus young, *poisson's ratio*, kohesi, sudut geser, dan sudut dilatasi. Sedangkan untuk memodelkan struktur tanah kaku digunakan metode *linear elastic*. Pemodelan tersebut menggunakan parameter modulus young, dan *poisson's ratio* untuk dapat menghitung penurunan.

3. METODOLOGI

Tahapan awal penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk mendapatkan pemahaman terhadap masalah agar tujuan dapat tercapai dengan tepat. Hal yang perlu dipertimbangkan meliputi teori tentang tanah dan klasifikasinya, dan teori tentang perencanaan serta perhitungan

stabilitas dinding penahan tanah dan jenis-jenisnya. Selain teori tersebut terdapat beberapa program bantu yang nantinya dapat digunakan untuk mempermudah perencanaan dinding penahan tanah seperti program bantu GEO 5, dan Plaxis 2D.

Pada penelitian ini diperlukan beberapa data seperti *layout* perencanaan, data tanah eksisting pada lokasi perencanaan, data beban yang berada pada bagian timbunan dinding penahan, dan data pasang surut permukaan air sungai. Data tersebut didapatkan dari Laporan Kajian Terminal Khusus PT.BIA yang di sediakan oleh PT terkait. Data tersebut kemudian dianalisa untuk mendapatkan rencana lokasi perkuatan, rencana beban *surcharge*, serta membuat gambaran mengenai *stratigrafi* tanah eksisting.

Setelah diperolehnya semua data, dilakukan rancangan mengenai kebutuhan kedalaman dinding penahan tanah. Selain menggunakan program bantu Geo5, metode FMM (*factored moment method*) juga digunakan untuk mencari kebutuhan kedalaman. Penggunaan metode ke-dua ini dilakukan untuk mengetahui alternatif hasil rancangan sehingga dapat meningkatkan tingkat kepercayaan dalam penentuan kebutuhan kedalaman kritis tiang. Berdasarkan kedua metode diatas akan diketahui selisih perbedaan kebutuhan kedalaman dan akan ditentukan kedalaman rencana berdasarkan hasil analisa.

Setelah kedalaman rencana dinding penahan tanah telah ditentukan, dilakukan perhitungan kekuatan struktur dinding penahan tanah. Gaya maksimum yang bekerja pada struktur dinding penahan tanah digunakan sebagai acuan dalam memilih ukuran profil yang akan digunakan. Tentunya, beban layan pada profil harus lebih besar daripada gaya yang bekerja pada struktur dinding penahan tanah. Sehingga, struktur dinding penahan tanah dapat menahan gaya yang bekerja dengan aman. Data kekuatan profil dinding penahan tanah didapatkan dari spesifikasi teknis dinding penahan tanah milik *Anchelor Metal*.

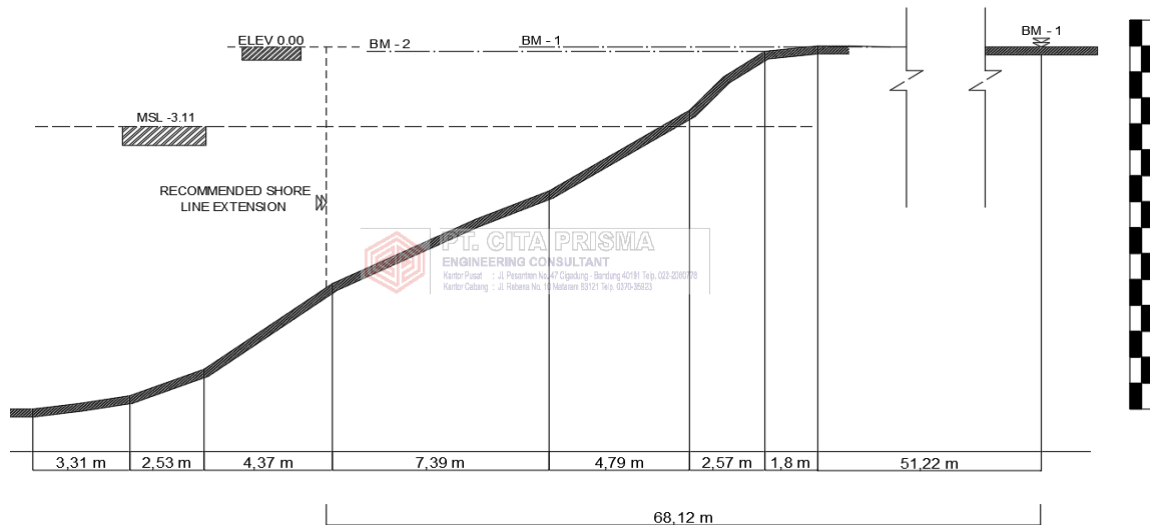
Faktor keamanan lereng didapatkan dari program bantu GEO 5 *Slope Stability*. Analisa ini akan digunakan dalam menentukan apakah perencanaan yang telah dilakukan telah memenuhi kebutuhan nilai *safety factor* atau belum. Jika nilai *safety factor* yang didapatkan masih belum memenuhi, perlu dilakukan perencanaan ulang guna mendapatkan rancangan yang lebih aman. Disaat nilai *safety factor* telah memenuhi kebutuhan minimum, perencanaan dinding penahan tanah ini dapat dikatakan memenuhi kebutuhan kekuatan dan telah aman dari bahaya longsor.

Analisa terhadap penurunan juga akan dilakukan karena adanya perluasan wilayah yang memerlukan adanya timbunan. Ketentuan besar penurunan maksimum ditetapkan berdasarkan SNI 8460:2017 mengenai persyaratan perencanaan geoteknik. Analisa penurunan dilakukan dengan menggunakan program bantu Plaxis 2D.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data dan Kondisi Eksisting

Dinding penahan tanah yang akan direncanakan mengacu kepada rekomendasi perluasan yang didapatkan dari Laporan Kajian Terminal Khusus PT. BIA sepanjang 370m (Gambar 2). Dalam laporan kajian tersebut dijelaskan bahwa penentuan perluasan wilayah pelabuhan dipengaruhi oleh kebutuhan kedalaman minimal untuk dilalui oleh kapal dan kebutuhan perluasan wilayah pelabuhan guna pengawasan proses bersandarnya kapal. Bentuk relief yang didapatkan dari laporan tersebut nantinya juga digunakan sebagai acuan dalam analisa, perhitungan, dan pemodelan dinding penahan tanah yang akan direncanakan.



Gambar 2 Bentuk relief tepi sungai (Sumber: Laporan Kajian PT. BIA)

Dalam Perencanaan dinding penahan tanah akan digunakan data dari BM – 1 karena lokasinya yang relatif lebih dekat dengan lokasi analisa dinding penahan dibandingkan BM – 2. Sehingga, data yang didapatkan lebih representatif terhadap keadaan tanah di lapangan. Menurut hasil data lab Laporan Kajian Terminal PT. BIA jenis tanah pada area pelabuhan adalah dominan pasir dan kerikil. Data laboratorium tanah dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Tabel hasil laboratorium BM 1

Kedalaman	γ_{sat} KN/m ³	γ_{dry} KN/m ³	γ_t KN/m ³	ϕ °	C KN/m ²
0 - 4m	18,93		18,93	25,3	53,33
4 - 8m	20,14		20,14	30	100
8 - 12m	19,41	18,22	19,41	29	93,33
12 - 16m	17,61	15,55	17,61	29,3	90
16 - 20m	18,21	15,68	18,21	32	120

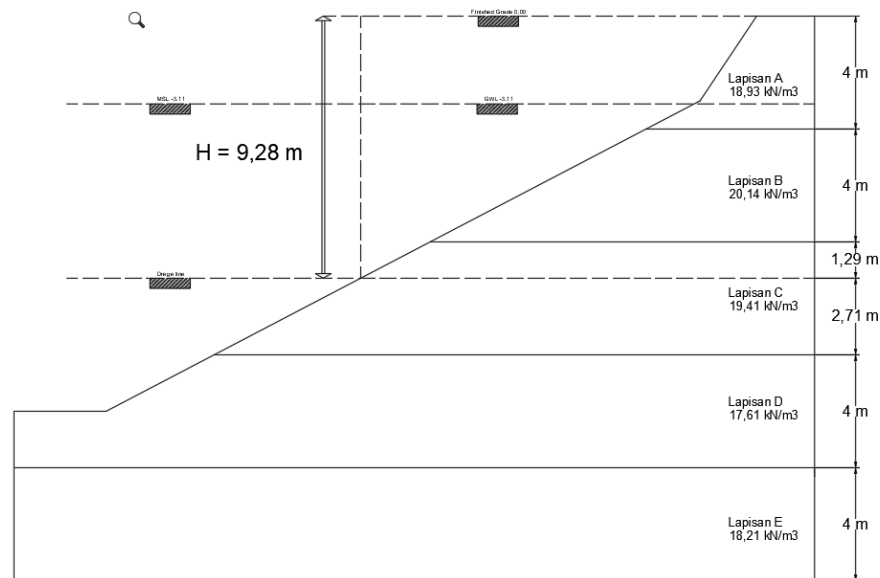
Sumber: Laporan Kajian PT.BIA

Tabel 5 Tabel keterangan fisik tanah

Lapisan Tanah	Keterangan
Tanah A	Lempung pasir halus kecoklatan
Tanah B	Pasir kerikil halus
Tanah C	Pasir kerikil kasar
Tanah D	kerikil batuan padat abu – abu
Tanah E	Batuan sangat padat abu – abu
Urug	Pasir kerikil urug padat (-9,28m)

Sumber: Laporan Kajian PT.BIA

Dengan menggabungkan data tanah tersebut dengan data relief lereng tepi sungai yang telah didapatkan, dihasilkan ilustrasi stratigrafi tanah guna mempermudah perhitungan selanjutnya. Ilustrasi lapisan tanah tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Stratigrafi tanah pada lokasi perencanaan

Dalam perencanaan dinding penahan tanah pada Terminal Khusus PT. BIA elevasi muka air laut yang meliputi MSL (*Mean Sea Level*), LLWL (*Lowest Low Water Level*), dan HHWL (*Highest High Water Level*) sangat diperlukan. Hasil analisa elevasi muka air sungai telah tersedia pada Laporan Kajian Terminal Khusus PT. BIA. Ketinggian muka air dari laporan tersebut mengacu pada elevasi *peischaal* yang ada di lokasi. Ketinggian muka air dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Tabel elevasi muka air

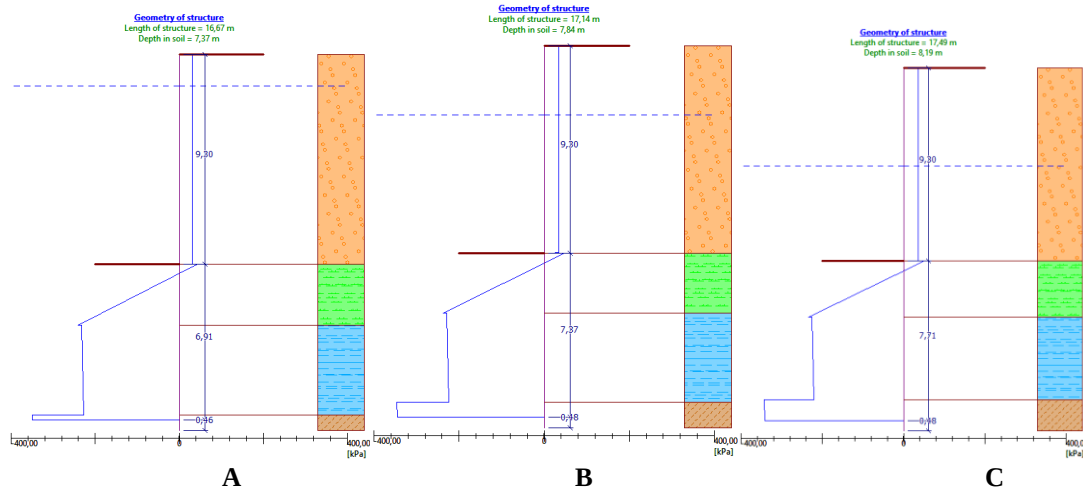
Elevasi-elevasi acuan <i>Peilschaal</i>	(cm)
<i>Highest High Water Level</i> (HHWL)	527,944
<i>Mean Sea Level</i> (MSL)	382,734
<i>Lowest Low Water Level</i> (LLWL)	219,144

Sumber: Laporan Kajian PT.BIA

4.2 Analisa Kebutuhan Kedalaman *Sheet Pile*

Perencanaan perluasan daerah pelabuhan PT. BIA menggunakan perkuatan lereng tegak menggunakan *cantilever sheet pile* dengan alasan metode pelaksanaanya yang relatif mudah dan cepat (Kampshof, 2014). Kebutuhan kedalaman dinding penahan tanah didapatkan menggunakan program bantu GEO 5. Dalam program tersebut digunakan data tanah, bentuk relief, dan dimensi yang telah didapatkan. Selain beberapa hal tersebut, ketinggian muka air yang meliputi MSL (*Mean Sea Level*), LLWL (*Lowest Low Water Level*), dan HWL (*Highest High Water Level*) juga dimodelkan untuk mendapatkan beban terbesar di saat keadaan pasang, normal, maupun surut.

Ketinggian muka air HHWL, MWL, dan LLWL dimodelkan satu persatu ke dalam program bantu. Hal ini dilakukan karena program GEO 5 hanya dapat menganalisa satu data input saja. Sehingga analisa dilakukan sebanyak 3 kali. Hasil kebutuhan kedalaman dan juga nilai tekanan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Distribusi Tekanan Horizontal Tanah dan Kebutuhan Kedalaman Pada Kondisi: (A) *Lowest low water level*, (B) *Mean Sea Level*, (C) *Highest High Water Level*.

Berdasarkan hasil output program GEO 5 pada Gambar 4 diatas, didapatkan kedalaman minimum untuk setiap ketinggian muka air sungai adalah sebagai berikut:

- *Highest high water level* (HHWL) D0 = 7,37 m
- *Mean sea level* (MSL) D0 = 7,84 m
- *Lowest low water level* (LLWL) D0 = 8,19 m

Selain menggunakan program bantu, metode FMM (*factored moment method*) juga digunakan untuk mencari kebutuhan kedalaman. Penggunaan metode ke-dua ini dilakukan untuk mengetahui alternatif hasil rancangan sehingga dapat meningkatkan tingkat kepercayaan dalam penentuan kebutuhan kedalaman kritis tiang. Dengan perhitungan menggunakan metode FMM didapatkan tekanan tanah pada setiap lapisan dalam setiap elevasi muka air yang dapat dilihat pada Tabel 7 hingga Tabel 9.

Tabel 7 Tekanan tanah horizontal pada kondisi MWL

Kedalaman	Aktif	Pasif
0,00	0,00	0,00
3,11	17,79	0,00
3,11	17,79	0,00
9,28	35,27	0,00
9,28	50,75	0,00
12,00	61,25	-255,73
12,00	60,47	-260,77
16,00	72,95	-354,89
16,00	58,79	-417,93

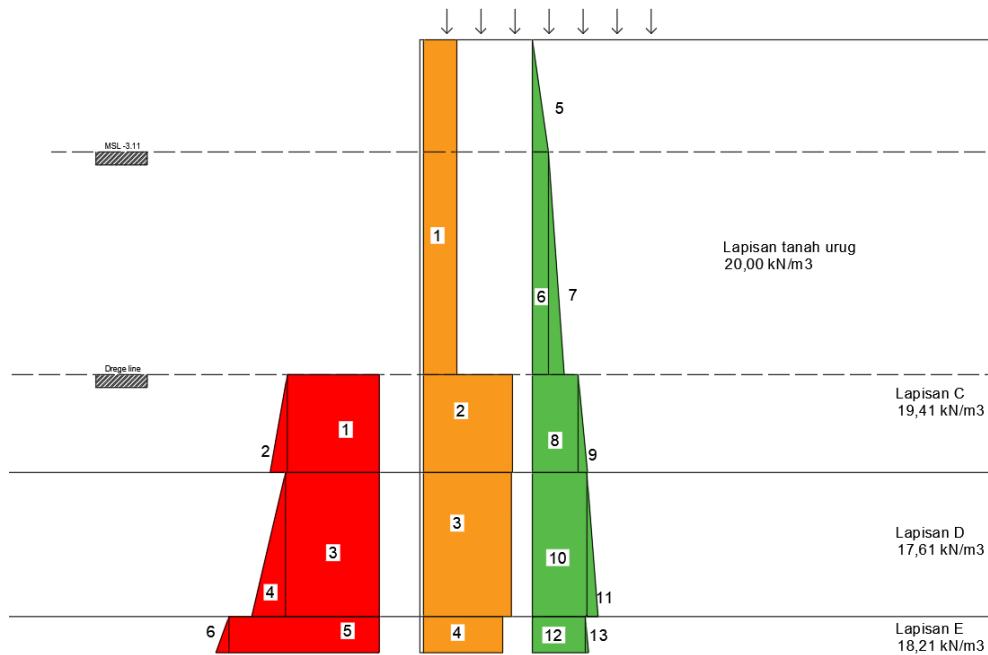
Tabel 8 Tekanan tanah horizontal pada kondisi HHWL

Kedalaman	Aktif	Pasif
0,00	0,00	0,00
1,41	8,05	0,00
1,41	8,05	0,00
9,30	30,99	0,00
9,30	43,99	0,00
12,00	54,49	-305,06
12,00	53,80	-311,09
16,00	66,28	-405,20
16,00	52,78	-477,18

Tabel 9 Tekanan tanah horizontal pada kondisi LLWL

Kedalaman	Aktif	Pasif
0,00	0,00	0,00
4,74	27,06	0,00
4,74	27,06	0,00
9,30	40,32	0,00
9,30	57,22	0,00
12,00	67,72	-208,42
12,00	66,86	-212,53
16,00	79,34	-306,65
16,00	64,56	-361,13

Dari perhitungan tersebut didapatkan ilustrasi gaya horizontal tanah yang bekerja pada kedalaman muka air 3.11m dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram distribusi tekanan pada setiap lapisan tanah.

Setelah gaya serta momen lengan yang bekerja pada dinding penahan ditemukan, perhitungan dilanjutkan dengan mencari nilai momen yang bekerja. Perhitungan momen tersebut dilakukan pada setiap gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah. Semua momen yang bekerja dijumlahkan secara keseluruhan sehingga mendapatkan persamaan:

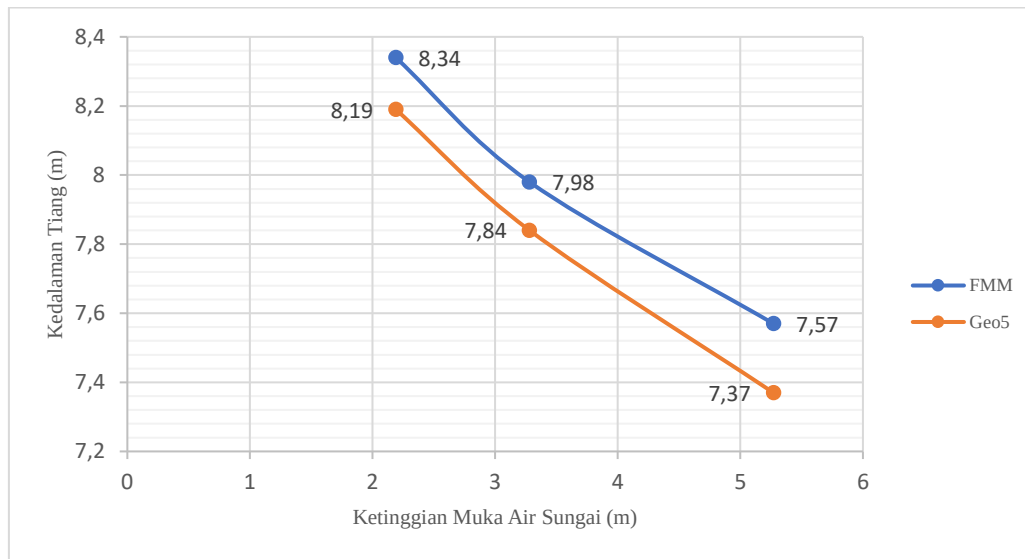
$$M_0 = (-0,675D_x^3) + (-0,9861D_x^2) + (-15,245D_x) + 31,346$$

Dengan menggunakan fitur *goal seek* pada program Ms.Excel, didapatkan nilai D_x sebesar 1,28m. Untuk mendapatkan kebutuhan kedalaman dinding penahan tanah total (D_0), hasil D_x perlu dijumlahkan dengan kedalaman dinding penahan pada lapisan tanah sebelumnya, sehingga didapatkan kedalaman D_0 pada tiga kondisi (HHWL, MWL, LLWL). Hasil perhitungan kebutuhan kedalaman menggunakan metode FMM dan perbandingannya dengan Program Geo5 dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 6 sebagai berikut:

Tabel 10 Tabel Hasil Perhitungan Kedalaman D_0 menggunakan metode FMM

Muka Air Sungai	Tinggi Muka Air (m)	Kedalaman D_0 (m)	
		FMM	Geo5
Highest high water level (HHWL)	5,27	7,57	7,37
Mean Water Level (MWL)	3,82	7,98	7,84
Lowest Low Water Level (LLWL)	2,19	8,14	8,19

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 6 Pengaruh pasang surut muka air sungai terhadap kebutuhan kedalaman tiang menggunakan metode FMM dan program bantu Geo5

Berdasarkan Tabel 10 dan Gambar 6, dapat dilihat bahwa kebutuhan kedalaman tiang akan semakin dalam dengan semakin rendahnya ketinggian muka air sungai. Hal ini terjadi karena turunnya muka air sungai akan menurunkan tekanan pasif pada dinding. Tekanan pasif pada dinding dapat diperhitungkan dalam analisis stabilitas dinding penahan sebab memberikan gaya tahan pada dinding tiang (Hakim, 2021). Baik metode FMM maupun program Geo5 memberikan hasil analisa yang sama. Jika dilihat pada perhitungan metode FMM, gaya aktif dan gaya pasif nantinya akan dipergunakan untuk menghitung besaran momen. Kemudian momen tersebut akan berhubungan dengan perhitungan kedalaman tiang. Sehingga dengan berubahnya nilai tekanan pasif pada dinding yang disebabkan karena pasang surut muka air sungai dapat mempengaruhi besaran kebutuhan kedalaman tiang. Hasil perhitungan menggunakan metode FMM memiliki perbedaan dalam perhitungan kebutuhan kedalaman dinding penahan tanah yang ada pada program GEO 5. Program Geo5 menghasilkan nilai yang lebih kecil daripada metode FMM. Perbedaan hasil pada suatu metode merupakan hal yang lumrah sebab memiliki perbedaan dalam tahapan dan rumusan perhitungannya. Meski memiliki nilai yang berbeda, perilaku terhadap perubahan muka air tanah memiliki kerimpitan. Tingkat perbedaan dapat dihitung sebagai berikut:

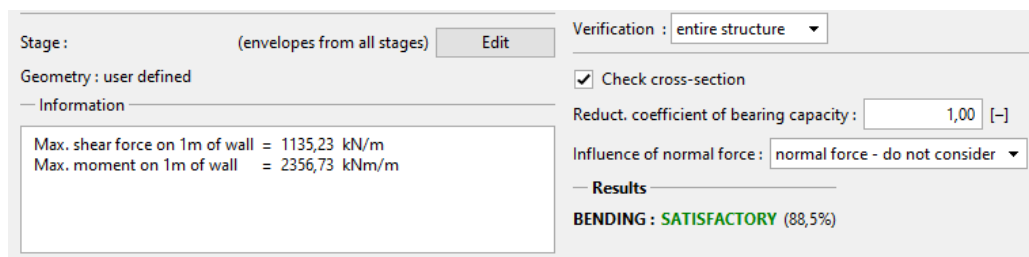
Kebutuhan kedalaman dengan metode FMM	: 8,34m
Kebutuhan kedalaman dengan program GEO 5	: 8,19m

$$n = \left(1 - \frac{D_{min}}{D_{max}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{8,19}{8,34}\right) \times 100 = 1,798\%$$

Dalam penentuan kedalaman rencana, perlu diambil nilai kedalaman terbesar atau terkritis untuk mendapatkan rancangan yang aman. Hal tersebut dikarenakan semakin dalam dinding penahan tanah, tahanan horizontal pasif tanah akan semakin besar (Hakro, 2022). Sehingga diambil kedalaman terbesar yaitu 8,34m dan dibulatkan menjadi 8,35m sebagai dimensi kedalaman rencana dinding penahan tanah.

4.3 Analisa Kekuatan, Stabilitas, dan Pergeseran Struktur Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan hasil program Geo 5 *sheeting design* didapatkan momen maksimal yang terjadi pada *sheet pile* sebesar 2356,73 kN/m². Nilai tersebut digunakan untuk mencari dimensi yang sesuai dan ekonomis. Beban layan pada profil harus lebih besar daripada gaya yang bekerja pada struktur dinding penahan tanah. Sehingga, struktur dinding penahan tanah dapat menahan gaya yang bekerja dengan aman (Shamsabadi, 2013). Mutu baja yang digunakan sebagai bahan dinding adalah EN10219 S440JH yang memiliki tegangan ijin sebesar 440MPa, sehingga digunakan profil *combined Retaining Wall* baja RR1000 dengan ketebalan dinding 18mm dan elemen sekunder *double VL603*. Profil tersebut kemudian di *input* ke dalam program bantu untuk dianalisa kapasitas kekuatan dinding penahan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil cek kekuatan menggunakan program GEO 5

Berdasarkan analisa tersebut, momen ijin yang diperbolehkan pada profil lebih besar daripada momen maksimum yang dibutuhkan, sehingga profil yang digunakan telah memenuhi kebutuhan kekuatan yang ada ($M_{ijin} > M_{max}$).

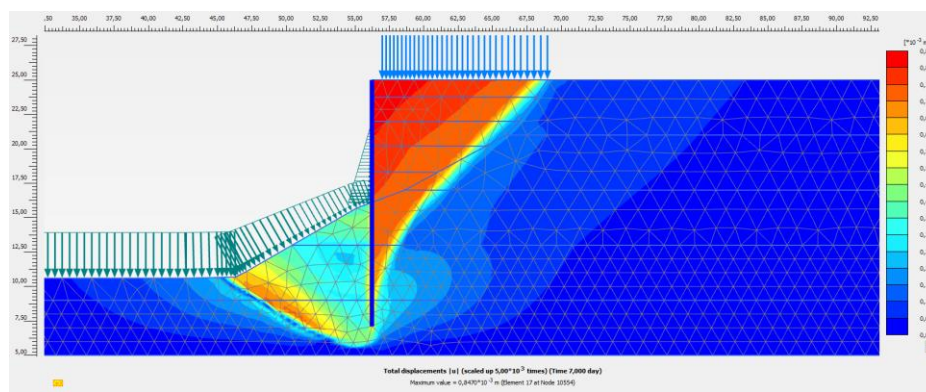
Program yang digunakan untuk mendapatkan nilai *safety factor* adalah program bantu GEO 5 *Slope Stability*. Sedangkan untuk analisa penurunan timbunan menggunakan program bantu Plaxis 2D. Hasil analisa *safety factor* dapat dilihat pada Gambar 8.

Slope stability verification (Bishop)		Slope stability verification (Bishop)	
Sum of active forces :	$F_a = 4173,41 \text{ kN/m}$	Sum of active forces :	$F_a = 4327,16 \text{ kN/m}$
Sum of passive forces :	$F_p = 9824,20 \text{ kN/m}$	Sum of passive forces :	$F_p = 10094,90 \text{ kN/m}$
Sliding moment :	$M_a = 205791,03 \text{ kNm/m}$	Sliding moment :	$M_a = 227781,50 \text{ kNm/m}$
Resisting moment :	$M_p = 484431,39 \text{ kNm/m}$	Resisting moment :	$M_p = 531395,77 \text{ kNm/m}$
Factor of safety =	$2,35 > 1,50$	Factor of safety =	$2,33 > 1,50$
Slope stability ACCEPTABLE		Slope stability ACCEPTABLE	
Optimization of circular slip surface (Bishop)		Optimization of circular slip surface (Bishop)	
A		B	
Slope stability verification (Bishop)		Slope stability verification (Bishop)	
Sum of active forces : $F_a = 4168,42 \text{ kN/m}$		Sum of active forces : $F_a = 4168,42 \text{ kN/m}$	
Sum of passive forces : $F_p = 9712,82 \text{ kN/m}$		Sum of passive forces : $F_p = 9712,82 \text{ kN/m}$	
Sliding moment : $M_a = 211964,25 \text{ kNm/m}$		Sliding moment : $M_a = 211964,25 \text{ kNm/m}$	
Resisting moment : $M_p = 493896,80 \text{ kNm/m}$		Resisting moment : $M_p = 493896,80 \text{ kNm/m}$	
Factor of safety = $2,33 > 1,50$		Factor of safety = $2,33 > 1,50$	
Slope stability ACCEPTABLE		Slope stability ACCEPTABLE	
Optimization of circular slip surface (Bishop)		Optimization of circular slip surface (Bishop)	
C		C	

Gambar 8 Hasil analisa SF menggunakan program GEO 5: A) kondisi HHWL, B) kondisi MSL, C) kondisi LLWL

Berdasarkan Gambar 8 didapatkan safety factor dinding penahan tanah terkecil senilai 2,33 untuk ketinggian muka air MSL dan LLWL. Nilai *safety factor* yang dihasilkan tinggi karena tanah eksisting dimana dinding penahan tanah tertimbun memiliki nilai N-SPT yang tinggi sehingga dapat memberikan tahanan pasif yang cukup besar (Patel, 2022).

Timbunan pada belakang dinding penahan (*backfill*) memerlukan adanya analisa penurunan. Analisa tersebut diperlukan untuk mengetahui apakah terdapat penurunan langsung (*immediate settlement*) yang signifikan pada timbunan. Dimensi dinding penahan yang telah direncanakan digambarkan pada pemodelan yang sebelumnya telah dibuat. Setelah seluruh geometri dan dimensi telah dimodelkan, dilakukan analisa penurunan langsung (*immediate settlement*) dengan jangka waktu 7 (hari) menggunakan program Plaxis 2D. Hasil analisa penurunan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Hasil analisa penurunan

Didapatkan penurunan langsung terbesar 0,857cm pada daerah timbunan dinding penahan. Terjadi penurunan yang sedikit dikarenakan mayoritas lapisan tanah terbentuk dari pasir dan kerikil atau bisa disebut tanah granular yang menyebabkan hanya terjadinya penurunan secara langsung (Budhu, 2010). Selain itu nilai N-SPT tanah eksisting terbilang cukup tinggi, sehingga dapat diasumsikan tanah eksisting telah ter-konsolidasi penuh (Hakim, 2019). Berdasarkan hasil analisa diatas, penurunan yang terjadi pada timbunan dinding penahan tanah telah memenuhi syarat maksimum menurut SNI 8460:2017 yaitu kurang dari 15cm.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dalam Penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa perubahan muka air sungai dapat mempengaruhi desain kedalaman sheet pile. Semakin air muka sungai mengalami surut, maka kebutuhan kedalaman sheet pile yang dibutuhkan juga semakin dalam. Kebutuhan kedalaman dinding penahan tanah dalam perencanaan perluasan wilayah pelabuhan sedalam 8,35m. Dengan kedalaman tersebut didapatkan nilai *safety factor* terkecil senilai 2,33 pada kondisi LLWL. Penurunan langsung yang terjadi pada daerah timbunan didapatkan sebesar 0,857cm sehingga telah memenuhi persyaratan pada SNI 8460:2017 (<15cm). Sedangkan profil yang dibutuhkan untuk dinding penahan tanah adalah profil *steel combined retaining wall* RR1000.

REFERENSI

- Andriani, A., Hanafi, H., & Hakam, A. (2021). Pengaruh Perubahan Kadar Air Tanah Terhadap Stabilitas Dinding Penahan Tanah Jenis Bronjong. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 17(1), 85-96.
- Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundations* (No. Ed. 3). John Wiley & Sons.
- Christian Sakti Hotasi, H. Y. (2019). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah*. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Hakim, L., Putra, P. P., & Nurtanto, D. (2021). Perkuatan Lereng pada Sempadan Sungai Jl. Sultan Agung Kabupaten Jember dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever. *Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 9(2), 115-128.
- Hakim, N. (2019). *Analisis Penurunan Tanah (Settlement) Pada Proyek Pembangunan Flyover Di Jalan Tuanku Tambusai–Jalan Soekarno Hatta Kota Pekanbaru Dengan Menggunakan Data Geomekanika Tanah* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Hakro, M. R., Kumar, A., Ali, M., Habib, A. F., de Azevedo, A. R., Fediuk, R., ... & Awad, Y. A. (2022). Numerical analysis of shallow foundations with varying loading and soil conditions. *Buildings*, 12(5), 693.
- Kampshof, G.-J. (2014). The tube-Cell Combi-Wall. *Geotechnical Engineering at Faculty of Civil Engineering and Geosciences Delft University of Technology*.
- Nurdianti, A. K., Atmodjo, W., & Saputro, S. (2016). Studi Batimetri dan Kondisi Alur Pelayaran di Muara Sungai Kapuas Kecil, Kalimantan Barat. *Journal of Oceanography*, 5(4), 538-545.
- Patel, S., & Deb, K. (2022). Experimental and analytical study of passive earth pressure behind a vertical rigid retaining wall rotating about base. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(6), 2371-2399.
- Shamsabadi, A., Shi-Yu, X. U., & Taciroglu, E. (2013). Development of Improved Guidelines for Seismic Analysis and Design of Earth Retaining Structures.