

Perencanaan Perkuatan Dinding Kolam Pelabuhan dan Penggunaan Material *Dredging* Sebagai Material Timbunan Pada Area Perluasan Dermaga Proyek RDMP-RU V Balikpapan

Muhammad Ivan Adi Perdana, Yudhi Lastiasih, dan Noor Endah

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
 e-mail: yudhi_lastiasih@ce.its.ac.id

Abstrak—Proyek RDMP-RU V PT. Pertamina Balikpapan meliputi pembangunan sisi darat dan laut. Di sisi darat akan digunakan sebagai perluasan dermaga untuk lahan parkir kendaraan, yang dibangun diatas tanah clayey silt. Tanah tersebut memiliki pemampatan yang cukup besar dan berlangsung sangat lama serta memiliki daya dukung yang kecil. Sedangkan kawasan sisi laut terdapat dredging area yang menghasilkan material kerukan. Material tersebut biasanya tidak dipergunakan lagi dan dibuang disuatu tempat. Hal ini akan lebih menguntungkan apabila dimanfaatkan sebagai material timbunan disisi darat. Dalam tugas akhir ini akan direncanakan penimbunan tanah pada sisi darat yang dibangun di atas tanah lunak, sehingga diperlukan perencanaan perbaikan tanah. Metode yang dapat digunakan dalam perencanaan perbaikan tanah adalah metode preloading dengan prefabricated vertical drain (PVD) untuk mempercepat pemampatan. Dengan adanya timbunan tersebut perlu dibangun konstruksi dinding penahan tanah untuk mencegah kelongsoran. Berdasarkan hasil analisis pada tugas akhir ini disimpulkan bahwa kondisi tanah dasar memiliki tebal lapisan mampu mampat sedalam 25 m. Material dredging dapat digunakan sebagai material timbunan. Tinggi awal timbunan (H-Initial) yaitu 5.28 m (Zona 1) dan 4.59 m (Zona 2). Besarnya pemampatan konsolidasi (S_c) adalah 1.42 m (Zona 1) dan 1.23 m (Zona 2). Pemasangan PVD direncanakan menggunakan pola segiempat dengan spasi 1.2 m yang ditanam sedalam 25 meter dengan waktu pemampatan konsolidasi (U) 90 % selama 23 minggu. Alternatif perkuatan dinding menggunakan secant pile dengan panjang 27.6 m (zona 1) dan 26.3 m (zona 2). Total biaya konstruksi penimbunan hingga perencanaan secant pile sebesar Rp8.135.487.283,-.

Kata Kunci—Material Dredging, Preloading, Prefabricated Vertical Drain (PVD), Sheet Pile, Soldier Pile, Secant Pile.

I. PENDAHULUAN

PERENCANAAN pembangunan proyek pelabuhan *Refinery Development Masterplan Program (RDMP)* – Refinery Unit (RU) V PT. Pertamina Balikpapan meliputi pembangunan sisi darat dan sisi laut. Kawasan sisi darat akan digunakan sebagai perluasan dermaga untuk lahan parkir kendaraan seluas 7527 m² yang akan dibangun perkerasan jalan, sehingga membutuhkan penimbunan tanah dengan elevasi yaitu +4 sampai dengan +4.5 m LWS. Sedangkan kawasan sisi laut terdapat *dredging area* yang direncanakan dengan kedalaman -9 m LWS dan -3 m LWS.

Perencanaan sisi darat dan sisi laut tersebut dibangun diatas tanah lunak. Berdasarkan data tanah secara umum memiliki jenis tanah *clayey silt*. Tanah tersebut memiliki pemampatan yang cukup besar dan berlangsung sangat lama serta memiliki daya dukung yang kecil.

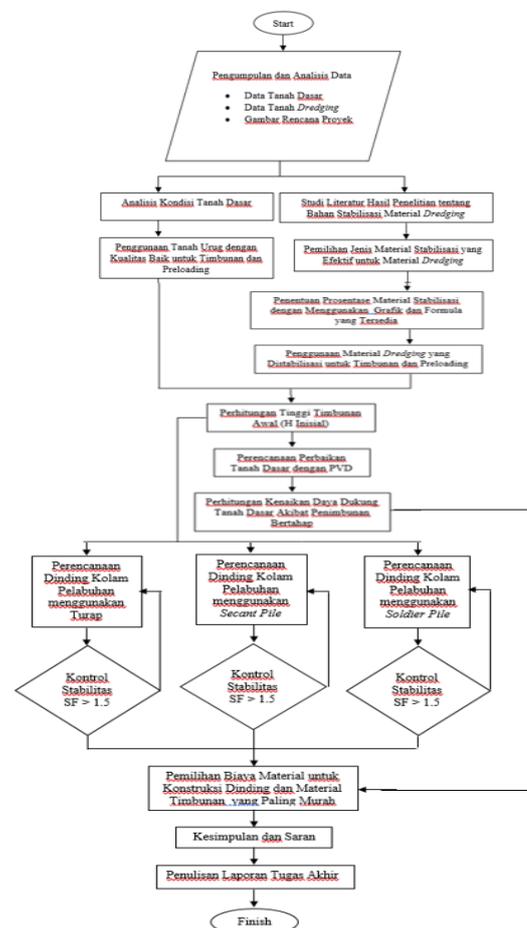
Berdasarkan latar belakang dan permasalahan diatas, pada tugas akhir ini akan direncanakan penimbunan tanah pada sisi darat yang dibangun di atas tanah lunak, sehingga diperlukan perencanaan perbaikan tanah. Metode yang dapat digunakan

dalam perencanaan perbaikan tanah adalah metode *preloading* dan pemasangan *prefabricated vertical drain*

(PVD) untuk mempercepat pemampatan. Di sisi laut, pada kawasan *dredging* menghasilkan material kerukan yang biasanya tidak dipergunakan lagi dan dibuang disuatu tempat. Dengan adanya material *dredging* dapat digunakan sebagai material timbunan pada area perluasan dermaga karena lebih ekonomis dan tidak perlu membuka lahan baru untuk pembuangan material *dredging*. Dengan adanya perluasan dermaga, perlu dibangun konstruksi dinding penahan tanah untuk mencegah kelongsoran. Perkuatan yang dapat digunakan sebagai alternatif adalah *sheet pile*, *secant pile* dan *soldier pile*. Dari ke 3 alternatif dinding tersebut dipilih yang paling murah dan efektif sebagai dinding kolam pelabuhan.

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Bagan Alir Tugas Akhir

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data

Data Tanah Dasar

Data tanah dasar yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data sekunder yang berupa *Borlog*, *Standard Penetration Test* (SPT) dan hasil test laboratorium. Terdapat 6 titik bor yang dilakukan hingga kedalaman 60 m. Data borlog SPT dan hasil laboratorium dari 6 titik bor tersebut dapat dilihat pada [1].

Data tanah yang dipakai ditentukan dengan menggunakan metode statistik distribusi dengan derajat kepercayaan (*Confidence Level*) 90%. Dari setiap parameter tanah dikelompokkan berdasarkan kedekatan nilai parameter dan kedalaman sehingga tiap kelompok tersebut dijadikan satu nilai dengan metode statistik distribusi. Metode statistik distribusi menggunakan tabel distribusi-t (*Tail Distribution*).

Berdasarkan hasil analisis didapat tebal lapisan mampu mampat sedalam 25 m dengan 3 meter awal lapisan tanah silty sand dan 22 meter dibawahnya adalah lapisan tanah *clayey silt*. Rekapitulasi data tanah di titik bor A6 dari hasil analisis menggunakan metode statistik distribusi dan rumus korelasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Material Timbunan

Material timbunan yang digunakan adalah tanah hasil *dredging* pada proyek RDMP RU V PT. Pertamina Balikpapan. Data tanah yang digunakan sebagai acuan parameter *dredging* adalah data tanah titik A2 dimana pada kedalaman -9.0 mLws jenis tanahnya *silty sand* dengan konsistensi *very loose to loose*. Berdasarkan analisis parameter material timbunan, maka tidak perlu dilakukan stabilisasi karena sesuai persyaratan timbunan [2], sehingga sudah cukup bagus digunakan sebagai tanah timbunan Hasil analisis data tanah *dredging* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Data Tanah Dasar Hasil Perhitungan Statistik

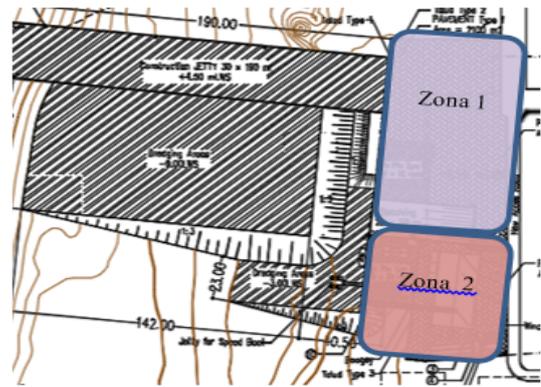
A6	Start Elevation	L44 (gpt)	1.44 (gpt)	1.025 (T/m3)	1.025 (T/m3)	Gs	φ	Cu (kg/cm2)	C (kg/cm2)	e	n	Cc	Cc	Cc Rata2	Cs	Cv (Cm2/g)	Ch (Cm2/g)	
Real Depth (m)	Bor Depth	Type of Soil	N-SPT	Wc (%)	ρt (T/m3)	ρd (T/m3)												
0	1.44	Silty Sand	5	23.25	1.918	1.556	2.685	15.0	0.32	0.21	0.769	0.384	0.000	0.000	0.000	0.00000	0	
0.44	1																	
-0.56	2																	
-1.56	3																	
-2.56	4																	
4	69.27	55	69.86	1.556	0.916	2.631	7.0	0.41	0.27	1.944	0.648	0.314	1.833	0.502	0.883	0.1766	0.000332	0.000996
4	1																	
-3.56	2																	
-4.56	3																	
-5.56	4																	
14	43.58	3	43.58	1.632	1.136	2.627	8.7	0.35	0.23	1.369	0.578	0.224	1.172	0.330	0.575	0.1151	0.000636	0.001908
14	1																	
-13.56	2																	
-13.56	3																	
-14.56	4																	
21	55.40	8	55.40	1.579	1.016	2.618	7.9	0.35	0.23	1.641	0.621	0.267	1.485	0.411	0.721	0.1442	0.000516	0.001548
21	1																	
-20.56	2																	
-21.56	3																	
-22.56	4																	

Tabel 2. Rekapitulasi Data Tanah Dredging Hasil Perhitungan Statistik

A2 (Dredging)	Start Elevation	L44 (gpt)	1.44 (gpt)	1.025 (T/m3)	1.025 (T/m3)	Gs	φ	Cu (kg/cm2)	C (kg/cm2)	e	n	Cc	Cc	Cc Rata2	Cs	Cv (Cm2/g)	Ch (Cm2/g)
Real Depth (m)	Bor Depth	Type of Soil	N-SPT	Wc (%)	ρt (T/m3)	ρd (T/m3)											
-4.2	0	Silty Sand	2	19.67	1.8574493	1.5522016	2.6554	12.6	0.128279175	0.18848783	0.7355	0.4297	0	0	0	0	0
-5.2	1																
-6.2	2																
-7.2	3																
-8.2	4																
5	19.67	5	19.67	1.8574493	1.5522016	2.6554	12.6	0.128279175	0.18848783	0.7355	0.4297	0	0	0	0	0	0
5	1																
-9.2	2																
-10.2	3																
-11.2	4																

Zona Penimbunan

Dalam perencanaan penimbunan terdapat 2 zona penimbunan yaitu Zona 1 (satu) dengan tinggi elevasi akhir +4.5 m dan Zona 2 (dua) dengan elevasi akhir +4 m. Kedua timbunan tersebut direncanakan diatas muka tanah dengan elevasi +1.44 m dengan data tanah A6. Lokasi penimbunan dan dimensi timbunan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Zona Penimbunan pada Proyek RDMP RU V PT. Pertamina Balikpapan

Data untuk Desain dan Analisis

Data Beban

Beban untuk perencanaan timbunan adalah beban perkerasan dan beban *traffic* alat berat. Tebal perkerasan 20 cm dengan menggunakan perkerasan rigid (*rigid pavement*). Beban *traffic* alat berat diasumsikan sebesar 1 T/m². Total beban perkerasan 1.48 T/m²

B. Perencanaan Timbunan Preloading dan Perbaikan Tanah Dasar

Timbunan Preloading

Penimbunan di daerah sisi darat Proyek RDMP-RU V PT. Pertamina Balikpapan direncanakan sebagai timbunan *preloading*. Timbunan *preloading* akan turun bersamaan dengan pemampatan tanah dasar hingga mencapai tinggi final rencana yaitu 3.06 m untuk Zona 1 dan 2.56 m untuk Zona 2. Tinggi beban timbunan direncanakan bervariasi dengan tinggi 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, dan 5 m. Variasi beban timbunan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

Variasi Beban Timbunan (q) untuk masing-masing H timbunan

H beban Timbunan (m)	H Bongkar (m)	H Timbunan (m)	q (t/m2)
1	0.797	1.797	3.337
2	0.797	2.797	5.195
3	0.797	3.797	7.052
4	0.797	4.797	8.910
5	0.797	5.797	10.767

Pemampatan Segera (Si)

Hasil perhitungan nilai pemampatan segera dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.

Rekapitulasi Nilai Pemampatan Segera untuk masing-masing variasi beban timbunan pada kedua Zona.

q (t/m2)	h (m)	E (MN/m2)	E (kN/m2)	E' (kN/m2)	μ	Si (m)
3.337	3	11.5	11500	13396.42357	0.233	0.0074739
5.195	3	11.5	11500	13396.42357	0.233	0.01163347
7.052	3	11.5	11500	13396.42357	0.233	0.01579305
8.910	3	11.5	11500	13396.42357	0.233	0.01995263
10.767	3	11.5	11500	13396.42357	0.233	0.02411221

Pemampatan Konsolidasi (Sc)

Perhitungan Pemampatan konsolidasi menggunakan pada saat kondisi *overconsolidated* karena nilai OCR > 1 dan (σ_o' + Δσ) > σ_c'.

Perhitungan Tinggi Timbunan Awal (H-Inisial) dan Akhir (H-Final)

Perhitungan tinggi perhitungan awal menggunakan langkah-langkah pada [3], sehingga didapat nilai tinggi timbunan awal tiap masing-masing variasi beban. Rekapitulasi perhitungan total pemampatan, nilai H Inisial dan H Final untuk semua variasi beban pada kedua zona, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.

Rekapitulasi Perhitungan H-Initial, H-Final, dan Sc; (a) Zona 1;(b) Zona 2

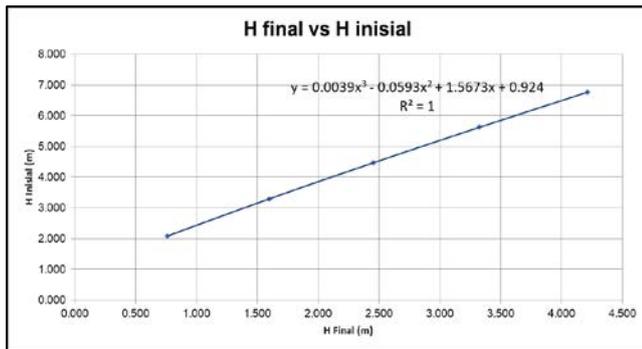
(a)

Htimb (m)	q total(t/m ²)	H inisial (m)	H bongkar (m)	Sc	Si	S Total	H final (m)
1	3.337	2.092	0.797	0.527	0.0074739	0.535	0.760
2	5.195	3.299	0.797	0.898	0.01163347	0.910	1.592
3	7.052	4.478	0.797	1.219	0.01579305	1.235	2.447
4	8.910	5.636	0.797	1.501	0.01995263	1.521	3.318
5	10.767	6.778	0.797	1.755	0.02411221	1.779	4.203

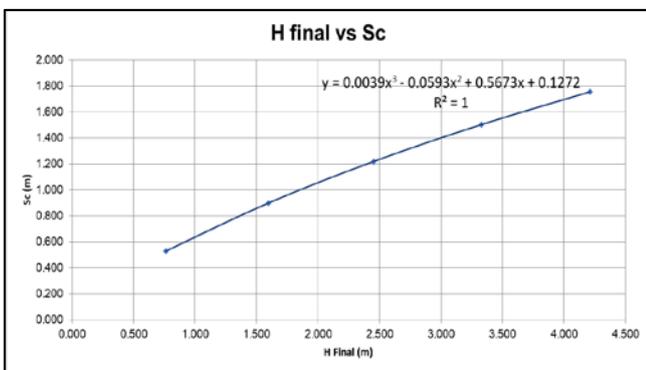
(b)

Htimb (m)	q total(t/m ²)	H inisial (m)	H bongkar (m)	Sc (m)	Si	S Total	H final (m)
1	3.337	2.085	0.797	0.515	0.0074739	0.523	0.766
2	5.195	3.290	0.797	0.882	0.01163347	0.894	1.599
3	7.052	4.468	0.797	1.200	0.01579305	1.216	2.455
4	8.910	5.625	0.797	1.481	0.01995263	1.501	3.327
5	10.767	6.767	0.797	1.733	0.02411221	1.757	4.212

Hubungan H-Initial dengan H-Final dan hubungan H-Final dengan Sc pada Tabel 3, dibuatkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Grafik tersebut menghasilkan persamaan regresi pangkat 3 yang digunakan menghitung H-Initial, H-Final dan SC



Gambar 3. Grafik Antara H-Final dan H-Initial Zona 1



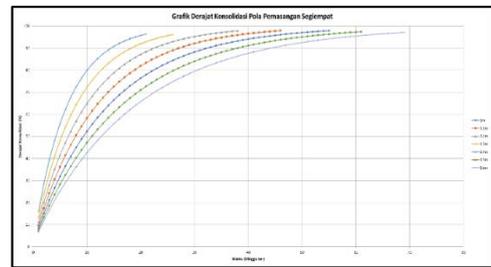
Gambar 4. Grafik Antara H-Final dan Sc Zona 1

H-Final = 3.06 m; H-Initial = 5.28 m; Sc = 1.42 m
 Dengan cara yang sama untuk Zona 2 diperoleh
 H-Final = 2.56 m; H-Initial = 4.59 m; Sc = 1.23 m
Perhitungan Waktu Pemampatan Tanpa PVD

Perhitungan waktu pemampatan dilakukan untuk mengetahui perlu atau tidaknya pemasangan PVD sebagai pemercepat waktu pemampatan. Hasil perhitungan pada [1] diperoleh Cv gabungan sebesar 1.791 m²/tahun dan tebal lapisan *drainage* (Hdr) sebesar 11 m karena terdapat lapisan pasir dibawah tanah mampu mampat, sehingga air pada lapisan tersebut dapat mengalir ke atas dan ke bawah, maka nilai Hdr dibagi 2.

Perencanaan PVD

PVD direncanakan dengan pemasangan pola segiempat dengan spasi 1.2 m dengan derajat konsolidasi sebesar 90.58 % yang dicapai selama 23 minggu. Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5 yaitu hubungan \bar{U} dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi yang direncanakan.



Gambar 5. Grafik Derajat Konsolidasi PVD Pola Pemasangan Segiempat **Perencanaan PHD**

Penggunaan PHD berfungsi untuk menyalurkan air dari PVD ke saluran drainase di samping kanan atau kiri timbunan. Berdasarkan spesifikasi PHD CETEAU CT-SD100-20 dari brosur memiliki kapasitas pengaliran 2.4 x 10⁻⁵ m³/detik, maka

- Zona 1
 $SF = 2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik} / 1.69 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik} = 14 > 1.3 \text{ (OK)}$
- Zona 2
 $SF = 2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik} / 7.89 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} = 30 > 1.3 \text{ (OK)}$

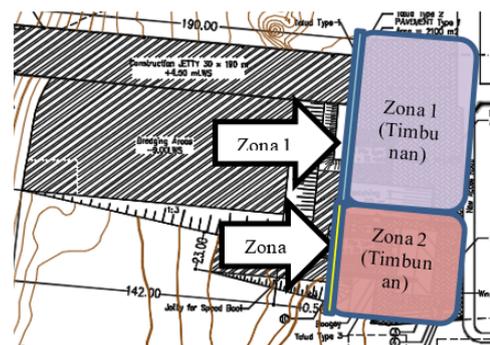
Sehingga pemasangan PHD CETEAU CT-SD100-20 dapat dilaksanakan pada kedua timbunan.

Penimbunan Bertahap

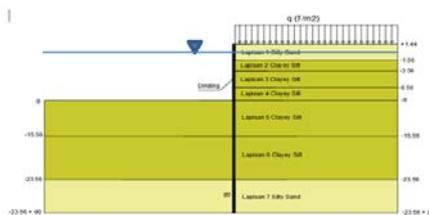
Penimbunan bertahap dilakukan untuk mempermudah metode pelaksanaan di lapangan. Berdasarkan hasil perhitungan H-Initial yang didapatkan, maka jumlah tahapan penimbunan untuk Zona 1 adalah 11 minggu dan Zona 2 adalah 10 minggu. Perhitungan tegangan dapat dilakukan sampai tahapan terakhir hingga mencapai H-Initial karena nilai H-Kritis >1. Setelah itu mencari tegangan U=100%, U<100%, kenaikan Cu Baru dan Pemampatan akibat penimbunan bertahap.

C. Perencanaan Perkuatan Dinding Geometri dan Pembebanan Dinding

Perkuatan dinding terbagi menjadi 2 zona yaitu Zona 1 dan Zona 2. Lokasi perkuatan dinding dapat dilihat pada Gambar 6. Kedua zona tersebut memiliki kedalaman galian tanah dasar yang sama yaitu mulai dari elevasi +1.44 m hingga -9 m. Perencanaan dinding dari kedua zona tersebut menggunakan timbunan sebagai beban surcharge. Geometri perencanaan dinding dapat dilihat pada Gambar 7.



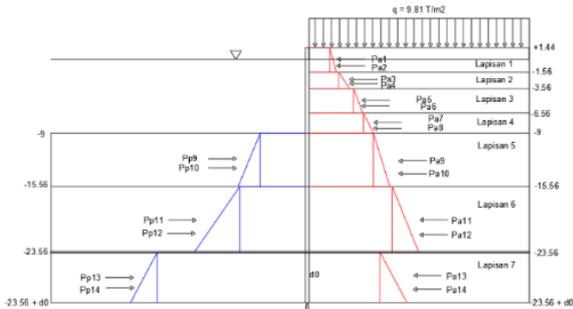
Gambar 6. Lokasi perkuatan dinding



Gambar 7. Geometri Perencanaan Dinding

Perencanaan Dinding Tanpa Angkur

Sketsa gaya-gaya yang bekerja pada turap ditunjukkan pada Gambar 8. Gaya-gaya tersebut digunakan untuk menghitung persamaan momen $\Sigma M = 0$ dengan titik putar momenya berada pada dasar dinding. Dari kedua persamaan yang didapatkan maka dicari faktor dari persamaan tersebut, dan didapatkan panjang d0.



Gambar 8. Sketsa Gaya Horizontal yang Bekerja pada Dinding Tanpa Angkur

Total panjang dinding yang dibutuhkan adalah

Zona 1: $d = (19.5 \text{ m} \times 1.2) + 25 \text{ m} = 48.39 \text{ m}$

Zona 2: $d = (15.9 \text{ m} \times 1.2) + 25 \text{ m} = 43.96 \text{ m}$.

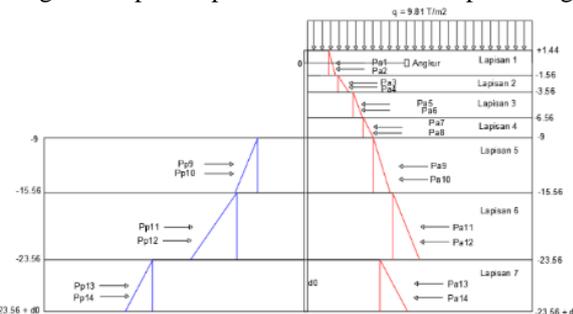
Momen maksimum yang bekerja pada turap adalah :

Zona 1: $M = 1427 \text{ ton.m} = 142700000 \text{ kg.cm}$.

Zona 2: $M = 1011 \text{ ton.m} = 101100000 \text{ kg.cm}$.

Perencanaan Dinding Dengan Angkur

Untuk mengurangi panjang dinding maka dinding diperlukan angkur. Dengan cara yang sama dengan perhitungan dinding tanpa angkur tetapi titik putar momen berada di posisi angkur.



Gambar 9. Sketsa Gaya Horizontal yang Bekerja pada Dinding dengan Angkur

Momen maksimum yang bekerja pada turap adalah :

Zona 1: $M = 1799 \text{ ton.m} = 179900000 \text{ kg.cm}$.

Zona 2: $M = 1679 \text{ ton.m} = 167900000 \text{ kg.cm}$.

Perencanaan Profil Dinding

Berdasarkan hasil perhitungan momen maksimal, diambil momen maksimum yang terbesar. Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan profil yang dipakai.

Sheet Pile

Nilai *section modulus* akibat momen yang bekerja didapatkan dengan membagi M_{max} dengan tegangan ijin, yakni sebesar 1500 kg/cm^2 , sehingga diperoleh *section modulus* sebesar

Zona 1 = 95117.59 cm^3

Zona 2 = 67397.39 cm^3

Section modulus profil turap terbesar adalah 25530 cm^3 . *section modulus* rencana lebih besar dari *section modulus* profil, sehingga profil turap tidak dapat digunakan untuk perkuatan dinding pada kedua zona. Selain itu, panjang *sheet pile* yang tersedia dari pabrik maksimal hanya 21 m, sehingga tidak dapat memenuhi panjang rencana dari dinding.

Secant Pile

Profil *secant pile* didapatkan menggunakan program bantu *PCA COL* dengan memasukkan input beban, asumsi diameter dan tulangan utama. Berikut merupakan hasil rekapitulasi dari *PCA COL*:

Zona 1: $d = 1500 \text{ mm}$, tulangan utama 42 D50

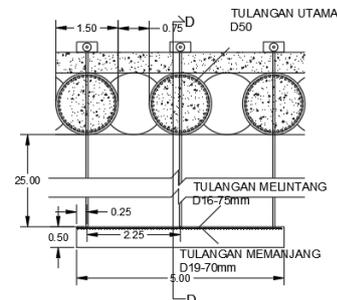
Zona 2: $d = 1500 \text{ mm}$, tulangan utama 38 D50

Perhitungan tulangan geser dihitung menggunakan nilai V_u yang didapat dari Σ gaya horizontal dan aktif. Berikut adalah perhitungan tulangan geser untuk kedua zona.

Zona 1: $V_u = 614.939 \text{ kN} < \phi V_n = 8470.03 \text{ kN}$

Zona 2: $V_u = 461.466 \text{ kN} < \phi V_n = 8470.03 \text{ kN}$

Nilai V_u dari kedua zona didapat lebih kecil daripada ϕV_n , sehingga tidak perlu adanya tulangan geser. Namun untuk alasan keamanan tetap direncanakan tulangan geser dengan diameter D16 secara spiral.



Gambar 10. Sketsa Penampang Profil *Secant Pile*

Menentukan Diameter Baja Angkur

Zona 1: T Angkur = 51.24 ton

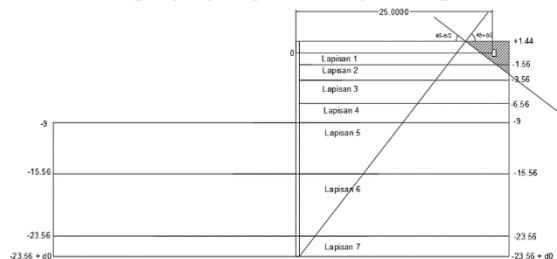
Zona 2: T Angkur = 37.65 ton

Direncanakan diameter angkur

Zona 1 $D = 8 \text{ cm}$

Zona 2 $D = 7 \text{ cm}$

Menentukan panjang angkur harus terletak pada daerah yang stabil [4]. Sketsa panjang angkur ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Sketsa Panjang Angkur

Perencanaan Angkur

Angkur direncanakan dengan menggunakan metode blok angkur. Perencanaan blok angkur yaitu mencari lebar blok angkur. berikut merupakan hasil perhitungan blok angkur

Zona 1: $B = 5 \text{ m}$; tulangan memanjang D19-70mm; tulangan melintang D16-75mm

Zona 2: $B = 3 \text{ m}$; tulangan memanjang D16-70mm; tulangan melintang D16-75mm

Soldier Pile

Profil *soldier pile* dapat dihitung melalui *section modulus*. Berikut diberikan perhitungan kontrol *soldier pile*

Zona 1: $S = 43867.29194 \text{ cm}^3$

Direncanakan soldier pile profil *circular hollow* dengan spesifikasi

$d_2 = 2500 \text{ mm}$; $t = 19 \text{ mm}$

$S_{\text{Circular Hollow}} = 46104.08798 \text{ cm}^3 > 43867.29194 \text{ cm}^3$ (OK)

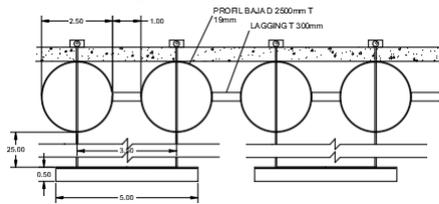
Zona 2; $S = 40916.74472 \text{ cm}^3$

Direncanakan soldier pile profil *circular hollow* dengan spesifikasi

$d_2 = 2500 \text{ mm}$ $t = 19 \text{ mm}$

$S_{\text{Circular Hollow}} = 46104.08798 \text{ cm}^3 > 40916.74472 \text{ cm}^3$ (OK)

Didapatkan profil soldier pile dari kedua zona menggunakan diameter 2500 mm dengan tebal 19 mm.



Gambar 12. Sketsa Penampang Profil Soldier Pile Circular Hollow

Kontrol Lentur

$$\phi M_n = 189026810 \text{ kg.cm} > M_u = 179855897 \text{ kg.cm (OK)}$$

Kontrol Geser

$$\phi V_n = 175275000 \text{ kg} > V_u = 614.939 \text{ kN} = 61493.9 \text{ kg (OK)}$$

Pemasangan Angkur menggunakan cara yang sama dengan *Secant Pile*

Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas dilakukan untuk memeriksa *safety factor* overall stability dan deformasi perkuatan dinding akibat beban yang bekerja pada dinding. Hasil analisis stabilitas dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6.

Hasil Analisis Stabilitas; (a) *Secant Pile*; (b) *Soldier Pile*; (c) Deformasi

(a)			(b)		
	Zona 1	Zona 2		Zona 1	Zona 2
SF	1.501	1.552	SF	2.142	2.259
R	17.628	15.871	R	22.853	22.319
Mres	29533	23026	Mres	97448	98212
X	38.636	39.891	X	29.972	30.506
y	36.523	35.224	y	36.866	35.653

(c)			
	Zona	SF	Deformasi (m)
Secant Pile	1	1.501	0.0535
	2	1.552	0.0486
Soldier Pile	1	2.142	0.0634
	2	2.259	0.0581

Perhitungan Biaya Material untuk Pemilihan Alternatif

Perhitungan total kebutuhan dan biaya material dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7.

Total Kebutuhan dan Biaya Material; (a) *Secant Pile*; (b) *Soldier Pile*

No	Pekerjaan	Satuan	Volume		Harga Satuan Rp	Jumlah Rp
			Timbunan 1	Timbunan 2		
I Pemasangan PVD dan PHD						
1	PVD	m	113400	58050	3,500.00	600,075,000.00
2	PHD	m	5471.28	2771.28	117,000.00	964,379,520.00
	Sub Total					1,564,454,520.00
II Pekerjaan Secant Pile						
1	Primary Bor Pile	m3	2631.2	1196	50,000.00	191,360,000.00
2	Secondary Bor Pile	m3	3498.948818	1625.774198	980,000.00	5,022,228,555.84
	Sub Total					5,213,588,555.84
III Blok Angkur						
1	Tendon	Ton	17.34011883	8.8627274	35,910,000.00	940,944,207.99
2	Pelat Beton	m3	281.25	143.75	980,000.00	416,500,000.00
	Sub Total					1,357,444,207.99
					Total	8,135,487,283.83

No	Pekerjaan	Satuan	Volume		Harga Satuan Rp	Jumlah Rp
			Zona 1	Zona 2		
I Pemasangan PVD dan PHD						
1	PVD	m	113400	58050	3,500.00	600,075,000.00
2	PHD	m	5471.28	2771.28	117,000.00	964,379,520.00
	Sub Total					1,564,454,520.00
II Pekerjaan Soldier Pile						
1	Tiang Baja	buah/12m	52	20	75,000,000.00	5,400,000,000.00
2	Lagging	batang	3080	1200	260,000.00	1,112,800,000.00
	Sub Total					6,512,800,000.00
III Blok Angkur						
1	Tendon	Ton	17.34011883	8.8627274	35,910,000.00	940,944,207.99
2	Pelat Beton	m3	281.25	143.75	260,000.00	110,500,000.00
	Sub Total					1,051,444,207.99
					Total	9,128,698,727.99

Perencanaan paling ekonomis adalah perkuatan dinding menggunakan *secant pile* dengan biaya material total sebesar Rp8.135.487.283,-.

IV. KESIMPULAN

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

- Berdasarkan hasil analisis didapat kondisi tanah pada kawasan sisi darat proyek pelabuhan RDMP – RU V PT.Pertamina, Balikpapan memiliki tebal lapisan mampu mampat sedalam 25 m dengan 3 meter awal lapisan tanah *silty sand* dan 22 meter dibawahnya adalah lapisan tanah *clayey silt*. Sedangkan kondisi tanah *dredging* di sisi laut proyek pelabuhan RDMP – RU V PT. Pertamina, Balikpapan, yang digunakan untuk material timbunan hingga kedalaman -9 m Lws adalah lapisan *silty sand*.
- Material yang digunakan untuk timbunan adalah material *dredging*. Parameter material *dredging* didapat sebagai berikut:
 $\gamma_t = 1.857 \text{ T/m}^3$ % gravel = 0.12
 $w_c = 19.67 \%$ % sand = 79.14
 $G_s = 2.655$ % silt = 20.74
 $C' = 0.19 \text{ kg/cm}^2$ % clay = 0
 $\Phi = 13^\circ$
 Material timbunan tersebut tidak perlu dilakukan stabilisasi karena sudah memenuhi beberapa syarat material timbunan seperti nilai γ lebih besar dari 1.85 T/m³, prosentase pasir tidak 100% homogen dan prosentase lempung kurang dari 20%.
 Tinggi awal timbunan (H-Inisial) yaitu
 Di Zona 1 = 5.28 m dengan nilai $S_c = 1.42 \text{ m}$
 Di Zona 2 = 4.59 m dengan nilai $S_c = 1.23 \text{ m}$
- Waktu pemampatan konsolidasi tanpa PVD untuk mencapai derajat konsolidasi (U) 90% ditempuh dalam waktu 57.3 tahun. Sedangkan apabila digunakan PVD waktu pemampatan konsolidasi untuk mencapai (U) 90 % dapat ditempuh dalam waktu 23 minggu. PVD direncanakan dengan pola segiempat dengan spasi 1.2 m yang ditanam sedalam 25 meter.
- Hasil Perencanaan Konstruksi Dinding Penahan Tanah adalah sebagai berikut:
 - Sheet pile**
Sheet pile tidak dapat digunakan karena *section modulus* rencana lebih besar dari *section modulus* profil, sehingga profil turap tidak dapat digunakan untuk perkuatan dinding pada Zona 1 dan 2. Selain itu, panjang *sheet pile* yang tersedia dari pabrik maksimal hanya 21 m, sehingga tidak dapat memenuhi panjang rencana dari dinding.
 - Secant Pile**
 Di Zona 1
 $d = 1500 \text{ mm}$, tulangan utama 42 D50
 Di Zona 2
 $d = 1500 \text{ mm}$, tulangan utama 38 D50
 Nilai V_u dari kedua zona didapat lebih kecil daripada ϕV_n , sehingga tidak perlu adanya tulangan geser. Namun untuk alasan keamanan tetap direncanakan tulangan geser dengan diameter D16 secara spiral.
 - Soldier Pile**
 Didapatkan profil *soldier pile* dari kedua zona adalah menggunakan profil baja *circular hollow* dengan diameter 2500 mm dan tebal 19 mm.
- Berdasarkan hasil perhitungan total kebutuhan dan biaya material, maka dapat diketahui bahwa perencanaan paling ekonomis adalah perkuatan dinding menggunakan *secant pile*. Biaya material total sebesar

Rp8.135.487.283,- dengan kedalaman 27.6 m untuk zona 1 dan 26.3 m untuk zona 2

Saran

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan, penulis memberikan saran yaitu:

1. Perlu adanya standar peraturan tentang material *dredging* yang digunakan sebagai material tanah timbunan sehingga pada saat perencanaan penimbunan hasilnya lebih baik.
2. Perlu adanya metode pelaksanaan yang tepat untuk penggalian *dredging* dan pemasangan perkuatan dinding yang sesuai kenyataan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perdana, Muhammad Ivan Adi. 2017. Perencanaan Perkuatan Dinding Kolam Pelabuhan dan Penggunaan Material *Dredging* Sebagai Material Timbunan pada Area Perluasan Dermaga Studi Kasus Proyek RDMP-RU V PT. Pertamina Balikpapan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (Belum dipublikasikan)
- [2] Wahyudi, Herman. 1997. Teknik Reklamasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Mochtar, Noor Endah. 2012. Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- [4] Das, Braja M. 1990. Principles of Foundation Engineering. Boston: PWS-KENT