

Perencanaan *Shore Protection* dan Tipikal Pondasi pada Area Perluasan di Proyek Pembangunan PLTMG 50 MW PT. Perusahaan Listrik Negara, Sorong

Candra Okto Rian Dwi Putra, Herman Wahyudi, dan Musta'in Arif
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: herman_its@yahoo.com

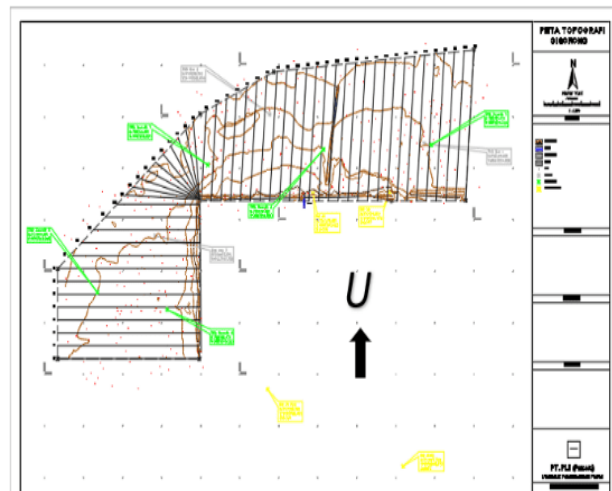
Abstrak—Salah satu pengembangan yang dilakukan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) di Sorong adalah perluasan lahan PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas) sebagai usaha peningkatan kapasitas listrik menjadi 50 MW. Perluasan lahan ini direncanakan seluas 4,6945 hm² dan direncanakan untuk pembangunan sebuah tangki tegak berisi *light fuel oil* (LFO) sebagai Sumber energi pembangkit listrik. Disamping itu, terdapat beberapa kondisi yang dapat menghambat perencanaan perluasan lahan seperti lapisan tanah eksisting didominasi oleh lanau kelepungan, daya dukung tanah di area perluasan cenderung rendah hingga kedalaman kritis 16 meter (NSPT < 15), dan lokasi area pematangan lahan berada di pesisir pantai. Dengan adanya kondisi-kondisi tersebut maka pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan *shore protection* dengan perbaikan tanah dan pondasi tipikal yang sesuai dengan beban tangki timbun. Metode perbaikan tanah yang direncanakan adalah metode preloading kombinasi PVD dengan pola segitiga dan segiempat; jarak antar PVD 0,8 m; dan panjang PVD hingga kedalaman lapisan *compressible*. Berdasarkan hasil perhitungan peningkatan daya dukung tanah dan analisa stabilitas lereng *shore protection* dengan program bantu didapatkan SF > 1,5 sehingga aman terhadap gelincir atau longsor. Dilain hal, dari hasil perhitungan penurunan pondasi dangkal tangki timbun tidak direkomendasikan karena penurunan tangki sebesar 1,212 m melebihi batas izin maksimum tangki timbun oil and gas oleh API 653 yakni sebesar 2 inci atau 50,8 mm. Oleh sebab itu maka diputuskan perencanaan pondasi dalam *spunpile* produk WIKA dengan kedalaman hingga 24 m tanpa perbaikan tanah di area pembangunan tangki timbun.

Kata Kunci—Analisa Gelombang Air Laut, Pondasi Dangkal, Pondasi Dalam, *Prefabricated Vertical Drain*, *Shore Protection*

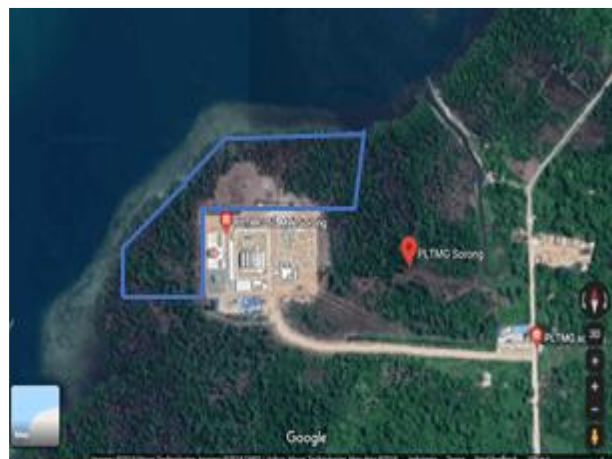
I. PENDAHULUAN

PLTMG dengan kapasitas 50 M saat ini direncanakan untuk dilakukan pengembangan agar tercapai PLTMG dengan kapasitas seperti yang diharapkan. Salah satu pengembangan yang dilakukan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) di Sorong adalah perluasan lahan PLTMG untuk meningkatkan kapasitas pembangkit menjadi 50 MW. Perluasan lahan ini direncanakan ke arah barat laut dari PLTMG 50 MW Sorong yang sudah dibangun dengan luas lahan perluasan yang direncanakan sebesar 4,6945 hm² seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan perluasan lahan ini direncanakan untuk pembangunan tangki tegak berisi minyak.

Untuk itu, dilakukan investigasi kondisi lapangan pada area perluasan lahan. Hasilnya disimpulkan bahwa kondisi



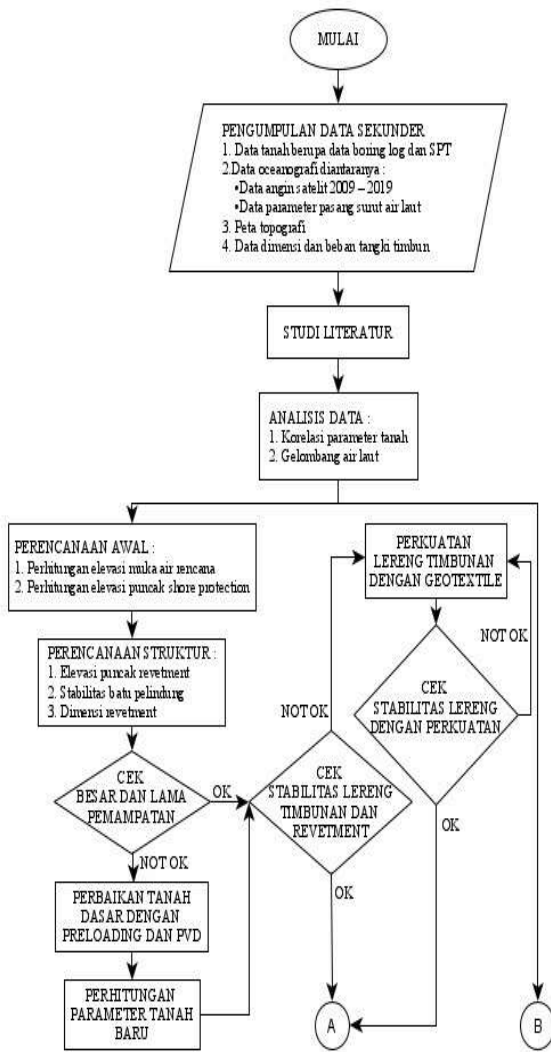
Gambar 1. Area perluasan lahan PLTMG 50 MW Sorong.



Gambar 2. Lokasi PLTMG50 MW berada di pesisir pantai.

lapisan tanah eksisting didominasi oleh lanau kelepungan dengan daya dukung tanah cenderung rendah hingga kedalaman kritis 16 meter. Selain itu lokasi yang berada di pesisir pantai Gambar 2 dapat menyebabkan tergerusnya tanah timbunan akibat abrasi.

Dengan adanya kondisi yang diharapkan maka perlu suatu usaha agar kondisi tersebut dapat dicapai. Adapun usaha – usaha yang dapat dilakukan diantaranya perbaikan tanah dengan cara peningkatan daya dukung tanah dan perkuatan tanah; alternatif perencanaan pondasi dangkal atau dalam untuk beban tangki timbun dan *shore protection* yang kuat menahan abrasi di sepanjang pesisir pantai



Gambar 3. Diagram alir perencanaan tugas akhir.

II. METODOLOGI

Metodologi Perencanaan ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

III. ANALISA DATA TANAH

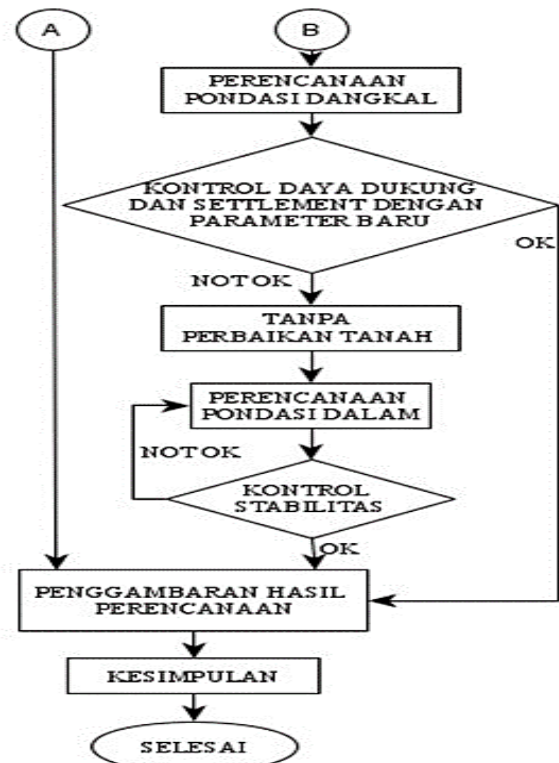
A. Analisa Parameter Tanah Dasar

Dari hasil analisa statistik terhadap sebaran data pada 3 data bor log (N SPT) didapatkan bahwa ketiga data tersebut bersifat heterogen atau nilai $K_v > 20\%$ sehingga tidak diperbolehkan dilakukan penggabungan data. Oleh sebab itu maka perlu dilakukan zonasi pada lokasi area perluasan lahan. Gambar hasil zonasi dapat dilihat pada Gambar 5.

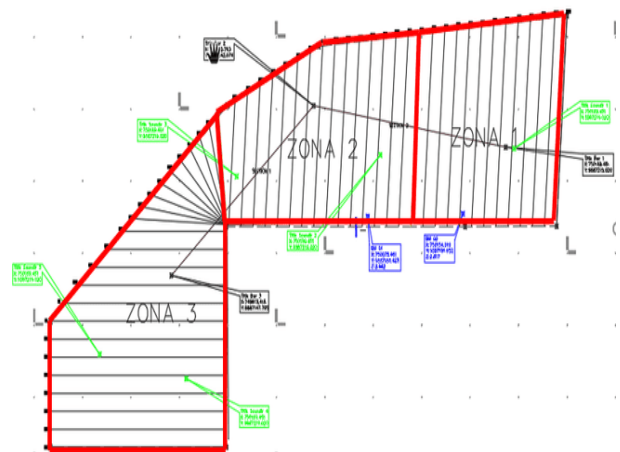
B. Korelasi Parameter Data Tanah

Data yang digunakan pada perencanaan tugas akhir terbatas hanya data NSPT sehingga perlu dilakukan korelasi parameter tanah dasar sehingga dapat digunakan sebagai acuan perhitungan analisis dan perencanaan.

Adapun sumber yang digunakan untuk korelasi parameter data tanah dalam perencanaan ini digunakan panduan korelasi Dalam buku Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi dan tabel lainnya seperti tabel NSPT dan korelasinya oleh Bowles dalam buku daya dukung pondasi dalam.



Gambar 4. Diagram alir perencanaan tugas akhir (lanjutan).



Gambar 5. Zonasi area perluasan lahan.

IV. ANALISA GELOMBANG AIR LAUT

A. Periode Ulang untuk Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan dengan Program Bantu Minitab

Setelah didapatkan tinggi gelombang maksimum di tiap tahun maka dilakukan analisis periode ulang sehingga didapatkan tinggi dan periode gelombang 50 tahun rencana. Adapun hasil analisis perhitungan dengan program bantu Minitab untuk periode ulang 50 tahun adalah sebagai berikut:

- $H_o = 0,829$ m
- $T_o = 5,8231$ m

B. Perhitungan Elevasi Muka Air Rencana

Parameter – parameter yang menjadi perhitungan elevasi muka air laut rencana dalam perencanaan ini diantaranya tinggi wave set up (S_w), tinggi wind set up (Δh), dan tinggi akibat pemanasan global (SLR).

Tabel 1.
Rekapitulasi perhitungan dimensi batu pecah

Keterangan	Berat Batuan (W) kg	Diameter Batuan (D) m	Tebal Batuan (t) m
Primary Layer	150	0,4	1,0
Secondary Layer	15	0,2	0,5
Core	1	0,1	-
Toe Protection	20	0,2	1,0

Adapun perhitungan parameter-parameter tersebut sebagai berikut:

1) Tinggi wave set up (Sw),

$$Sw = 0,19 \left[1 - 2,82 \cdot \sqrt{\frac{H}{gT^2}} \right] \cdot H \quad (1)$$

$$Sw = 0,851 \text{ m}$$

2) Tinggi wind set up (Δh),

$$\Delta h = F \cdot c \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot d} \quad (2)$$

$$\Delta h = 0,144 \text{ m}$$

3) Tinggi pemanasan global (SLR),

Tinggi pemanasan global (SLR) berdasarkan grafik informasi perkiraan terbaik besarnya kenaikan muka air laut dari tahun 1990 sampai 2100 [1]. Direncanakan *shore protection* dengan umur rencana 50 tahun, maka perkiraan terbaik di tahun 2070 adalah 0,41 m.

4) Elevasi Muka Air Rencana (EMA),

$$\begin{aligned} EMA &= HAT + SW + \Delta h + SLR \\ EMA &= 1,33 + 0,851 + 0,144 + 0,41 \\ EMA &= 2,735 \text{ m} \end{aligned} \quad (3)$$

C. Perhitungan Elevasi Puncak Shore Protection Run Up (batu pecah)

Rencana kemiringan revetment = 1:2

$$\begin{aligned} Lo &= 1,56 \times To^2 \\ Lo &= 52,899 \text{ m} \end{aligned} \quad (4)$$

$$Ir = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{Lo}\right)^{0,5}} \quad (5)$$

$$Ir = 3,99$$

$$\frac{Ru}{H} = 1,26, \text{ dengan grafik run up [2]}$$

$$Ru = 1,26 \times 0,829 \quad (6)$$

$$Ru = 1,045 \text{ m}$$

Total elevasi puncak *revetment* dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_{puncak} &= EMA + Run Up + Freeboard \\ H_{puncak} &= 2,735 + 1,045 + 1 \\ H_{puncak} &= 4,78 \text{ m} \end{aligned} \quad (7)$$

V. PERENCANAAN SHORE PROTECTION DENGAN STRUKTUR RUBBLE MOUND

A. Jenis Shore Protection

Batu pecahan merupakan material struktur *rubble mound* yang digunakan sebagai susunan lapis pelindung. Pada perencanaan *shore protection* dipilih batu pelindung jenis *limestone* dengan berat jenis = 2400 kg/m³

B. Stabilitas Lapis Pelindung

1) Lapis Pelindung Pertama (W_1)

$$W_1 = \frac{\gamma r \cdot H^3}{kd \cdot (Sr - 1)^3 \cdot \cot\theta} \quad (8)$$

2) Lapis Pelindung Kedua (W_2)

$$W_2 = W_1 / 10 \quad (9)$$

3) Inti Shore Protection (W_{core})

$$W_{core} = W_1 / 200 \quad (10)$$

C. Perhitungan Dimensi Revetment (Dn)

$$Dn = \left(\frac{Wn}{\gamma r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

D. Lebar Puncak Revetment

$$B = n \cdot k \Delta \cdot \left(\frac{W_1}{\gamma r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

E. Tebal Lapis Pelindung

$$T = n \cdot k \Delta \cdot \left(\frac{W}{\gamma r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

F. Stabilitas Pelingdung Kaki (Toe Protection)

1) Berat Batu Toe Protection

$$W_{toe} = \frac{\gamma r \cdot H^3}{N_s^3 (Sr - 1)^3} \quad (14)$$

2) Dimensi Batu Toe Protection

Mengikuti persamaan dimensi batu pelindung [2].

3) Dimensi Toe Protection

$$\begin{aligned} B &= 3 \times h \\ B &= 1,86 \text{ m} \approx 2 \text{ m} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} H &= r \\ H &= 0,75 \text{ m} \approx 1 \text{ m} \end{aligned} \quad (16)$$

G. Rekapitulasi Dimensi Shore Protection

Dari hasil perhitungan dengan kemudian dapat disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi dimensi *revetment* dapat dilihat pada Tabel 1.

VI. ANALISA PRELOADING DAN PERENCANAAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN

A. Perhitungan Timbunan Preloading

Tinggi inisial timbunan disesuaikan dengan tinggi puncak bangunan *Shore Protection* yakni pada elevasi +4,78 m dengan fluktuasi muka air laut sesuai dengan tinggi pasang air laut (HHWL) yakni +1,21 m. Beban – beban rencana yang diberikan untuk analisa *preloading* timbunan terdiri dari beban timbunan dan operasional.

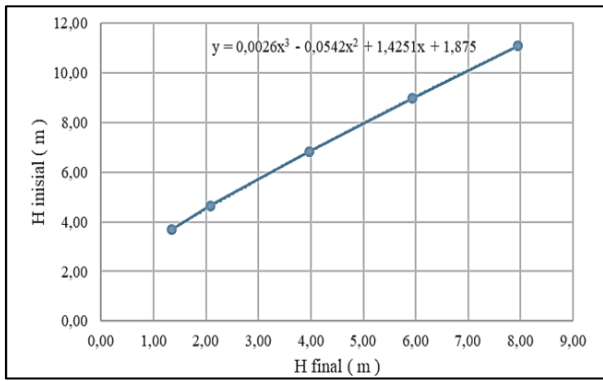
H inisal ditentukan dengan simulasi perhitungan pemampatan tanah timbunan trapezium yang memiliki kemiringan sebesar 1:2. Variasi tinggi timbunan yang diambil yakni 3 m, 4m, 6 m, 8m, dan 10 m

B. Spesifikasi Beban – Beban

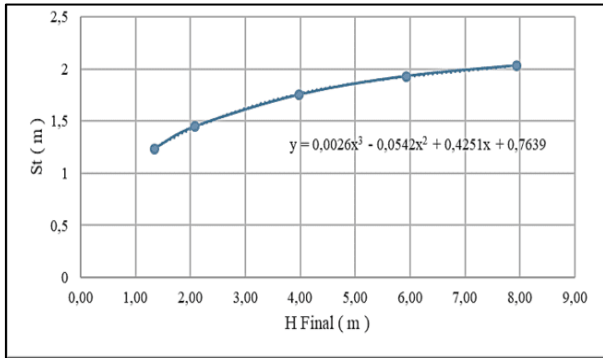
1) Spesifikasi Tanah Timbunan

Data spesifikasi timbunan digunakan sifat fisik tanah timbunan sirtu sebagai berikut:

- C = 0 t/m²
- γ_{timb} = 1,8 t/m³
- ϕ = 30°
- v = 0,4



(a)



(b)

Gambar 6. Grafik hubungan (a) $H_{inisial}$ vs H_{final} ; (b) $Settlement$ vs H_{final} zona 3.

- $E = 200 \text{ MPa}$

2) *Beban Operasional*

Beban operasional yang diperhitungkan adalah beban distribusi merata tambatan curah cair sebagai fungsi operasional untuk beban alat dan instalasi pipa sebesar 2 t/m^2 .

C. *Perhitungan Penurunan Tanah*

1) *Penurunan Tanah Konsolidasi*

Sebagai contoh perhitungan zona 3 memiliki lapisan *compressible* pada lapisan kedalaman 16 m akibat beban timbunan 3 adalah sebagai berikut :

$$\sigma'_o + \Delta p(timb) = 8,38 + 4,93$$

$$\sigma'_o + \Delta p(timb) = 13,31 \text{ t/m}^2 \tag{17}$$

$$\sigma'_c = 9,59 \text{ t/m}^2 \tag{18}$$

Karena nilai $\sigma'_o + \Delta p(timb) > \sigma'_c$, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$S_{c_{timb}} = \frac{C_s}{1 + e_0} H_{ilog} \frac{p'_c}{p'_o} + \frac{C_c}{1 + e_0} H_{ilog} \frac{p'_o + \Delta p}{p'_c}$$

$$S_{c_{timb}} = \frac{0,06}{1 + 1,29} 1 \log \frac{9,59}{8,38} + \frac{0,31}{1 + 1,29} 1 \log \frac{13,31}{9,59} \tag{19}$$

$$S_{c_{timb}} = 0,020615 \text{ m}$$

$S_{c_{timb}}$ akumulatif dihitung dari elevasi 0 hingga kedalaman 16 m untuk beban timbunan 3 m adalah 0,932 m dan dengan cara yang sama untuk beban operasional didapatkan S_{oper} sebesar 0,3044 m.

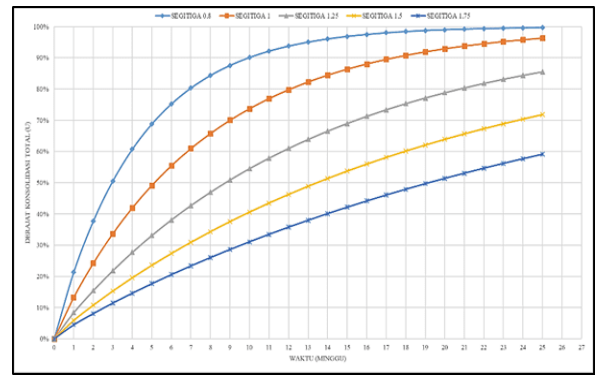
2) *Penurunan Tanah Segera*

Perhitungan pemampatan segera (*immediate*) untuk zona 3 pada kedalaman 16 m dengan variasi timbunan 3 m adalah sebagai berikut:

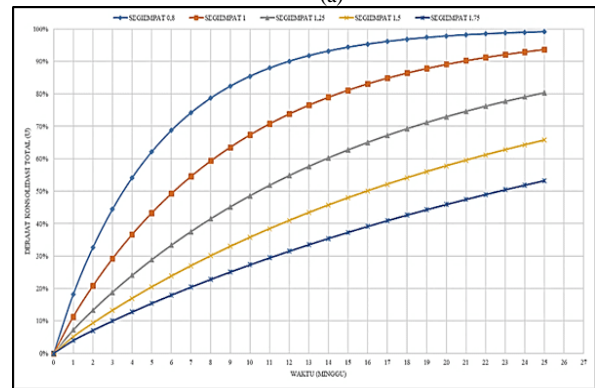
$$q_{total} = q_{timbunan} + q_{operasional}$$

$$q_{total} = 1,8 \times 3 + 2 \tag{20}$$

$$q_{total} = 7,40 \text{ t/m}^2$$



(a)



(b)

Gambar 7. Grafik hubungan $U_{rata-rata}$ terhadap waktu dengan pola segitiga (a); dan segiempat (b) zona 1.

$$E' = \frac{E}{\left(\frac{1 - 2\mu^2}{1 - \mu}\right)} \tag{21}$$

$$E' = 4370,212 \text{ t/m}^2$$

Nilai S_i kum dari kedalaman 0 hingga 16 m sebagai berikut:

$$S_i = q \sum \left(\frac{h}{E'}\right) \tag{22}$$

$$S_i = 0,239 \text{ m}$$

3) *Penurunan Tanah Total*

$$S_{total} = S_{c_{timb}} + S_{oper} + S_{i_{timb}} + oper$$

$$S_{total} = 0,932 + 0,3044 + 0,238 \tag{23}$$

$$S_{total} = 1,475 \text{ m}$$

D. *Perhitungan Hinisial dan St Rencana*

Setelah dilakukan percobaan perhitungan untuk variasi timbunan 3 m, 4m, 6 m, 8m, dan 10 m. Dapat dicari $H_{inisial}$, $H_{bongkar}$, dan H_{final} yang terjadi untuk timbunan 3 m di zona 3 sebagai berikut:

$$H_{inisial} = \frac{q_{final} + (St \cdot (\gamma_{timb} + \gamma_w - \gamma_{sat-timb}))}{\gamma_{timb}} \tag{24}$$

$$H_{inisial} = 3,82 \text{ m}$$

$$H_{bongkar} = \frac{q_{operasional}}{\gamma_{timbunan}} \tag{25}$$

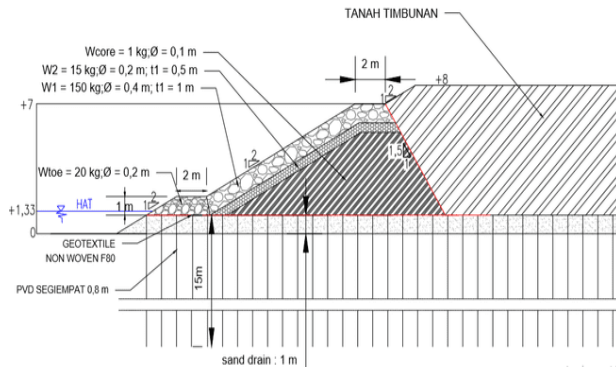
$$H_{bongkar} = 1,111 \text{ m}$$

$$H_{final} = H_{inisial} - H_{bongkar} - St \tag{26}$$

$$H_{final} = 1,23 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan yang telah diperoleh grafik hubungan H_{final} vs $H_{inisial}$ dan $Settlement$ vs H_{final} untuk contoh zona 3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Perhitungan tinggi timbunan awal dan besar pemampatan rencana dapat menggunakan formula hasil regresi polinomial



Gambar 8. Potongan tipikal shore protection zona 1

pangkat 3 grafik hubungan pada Gambar 6. Contoh perhitungan tinggi timbunan awal dan settlement rencana untuk zona 3 adalah sebagai berikut:

$$H_{final} = +4,78 \text{ m} \quad (27)$$

$$\text{Elevasi dasar} = +0 \text{ m} \quad (28)$$

1) Rumus regresi hubungan H_{final} dan $H_{inisial}$:

$$H_{inisial} = 0,0026(H_{final})^3 - 0,0542(H_{final})^2 + 1,425(H_{final}) + 1,875 \quad (29)$$

$$H_{inisial} = 7,73 \text{ m}$$

2) Rumus regresi hubungan H_{final} dan Settlement:

$$S_t = 0,0026(H_{final})^3 - 0,0542(H_{final})^2 + 0,425(H_{final}) + 0,7639 \quad (30)$$

$$S_t = 1,841 \text{ m}$$

E. Waktu Pemampatan Natural

Hasil perhitungan waktu konsolidasi natural untuk U = 90 % di semua zona [2] sebagai berikut:

- Zona 1 = 133 tahun
- Zona 2 = 236 tahun
- Zona 3 = 249 tahun

Dari hasil perhitungan lama waktu pemampatan diatas untuk U = 90% adalah lebih dari 100 tahun (cukup lama), maka dibutuhkan aplikasi PVD yang untuk mempercepat waktu pemampatan.

F. Perencanaan PVD

Ditetapkan beberapa hal untuk perencanaan PVD adalah sebagai berikut :

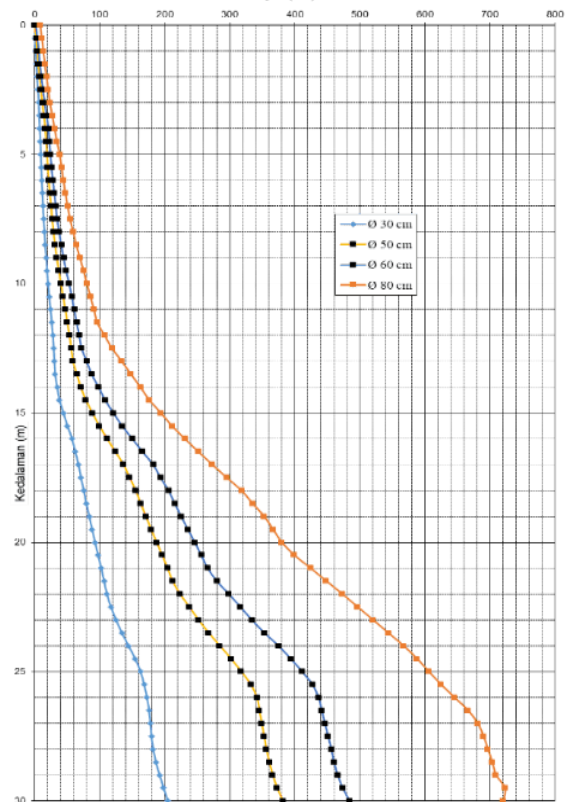
- t (waktu tunggu) < 16 minggu
- Spesifikasi PVD yang digunakan :
- Tipe PVD = CeTeau-Drain CT-D822 (100 x 4) mm
- Panjang PVD direncanakan sedalam lapisan compressible ditambah dengan lapisan sand drain setebal 1 m sehingga :
- Zona 1 = 14 + 1 = 15 m
- Zona 2 = 16 + 1 = 17 m
- Zona 3 = 16 + 1 = 17 m
- U average ditetapkan sebesar 90 %
- Pola Segitiga dan Segiempat

Jarak pemasangan PVD dilakukan analisa untuk jarak 0,8 m; 1 m; 1,25 m; 1,5 m, dan 1,75 m yang kemudian dipilih yang paling sesuai. Contoh grafik hasil perhitungan dengan hubungan U rata – rata(%) VS waktu (minggu) dapat dilihat untuk zona 1 dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari hasil dari grafik hubungan diatas dapat dipilih jarak pemasangan PVD paling efisien yang berarti tanah dapat mampat mencapai U > 90 % dalam kurun waktu kurang dari 16 minggu. Dari hasil rekapitulasi diatas dapat diputuskan penggunaan PVD dengan jarak dan pola tiap zona sebagai berikut :

- Zona 1 dipilih PVD pola segiempat dengan jarak 0,8 m.
- Zona 2 dipilih PVD pola segiempat dengan jarak 0,8 m.

Grafik Daya Dukung Ultimate Aksial Tekan Tiang Tunggal Zona 3 Berdasarkan Harga SPT dengan Formula Luciano Decourt (Koreksi Muka Air Tanah)



Gambar 9. Daya dukung tiang tunggal zona 3.

- Zona 3 dipilih PVD pola segitiga dengan jarak 0,8 m.

VII. PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH DAN ANALISA STABILITAS TIMBUNAN DAN SHORE PROTECTION

A. Perhitungan Parameter Tanah Baru

Penimbunan bertahap direncanakan untuk memudahkan pengerjaan dalam metode pelaksanaan timbunan. Direncanakan kecepatan pentahapan timbunan adalah 0,5 m setiap minggu dan pentahapan batu shore protection 1 m setiap 2 minggu. Perencanaan kecepatan tersebut disesuaikan agar pentahapan timbunan dapat berjalan selaras dengan pentahapan batu shore protection.

Contoh perhitungan nilai parameter baru pada zona 3 akibat beban timbunan 16 tahap dan umur timbunan 16 minggu adalah sebagai berikut :

1) Perubahan nilai Cu,

Nilai PI < 120 % maka untuk mencari nilai Cu baru digunakan rumus sebagai berikut :

$$Cu = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times PI)\sigma_p' \quad (31)$$

$$Cu = 0,2046 \text{ kg/cm}^2$$

maka Cu baru = 0,2046 kg/cm²

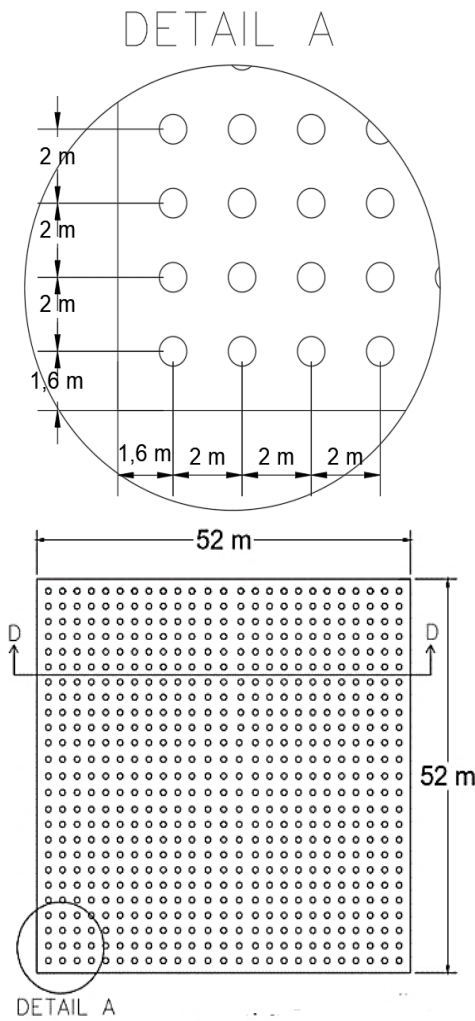
$$C_{transisi} = \frac{Cu_{lama} + Cu_{baru}}{2} \quad (32)$$

$$C_{transisi} = 0,1329 \text{ kg/cm}^2$$

2) Perubahan nilai angka pori (e),

Adapun contoh perhitungan e_{baru} pada lapisan dengan kedalaman 1 m sebagai berikut :

$$\Delta e = (1 + e_o) \times \left(\frac{\Delta h}{h}\right) \quad (33)$$



Gambar 10. Tampak atas pondasi dalam.

$$\begin{aligned} \Delta e &= 0,7088 \\ e_{baru} &= e_0 - \Delta e \\ e_{baru} &= 2,31 - 0,7088 \\ e_{baru} &= 1,66 \end{aligned} \tag{34}$$

Setelah didapatkan e_{baru} setiap 1 meter lapisan kemudian dirata – rata pada setiap konsistensi sehingga didapatkan nilai e_{baru} rata – rata = 1,86

3) *Perubahan nilai berat jenis jenis (γ_{sat}),*

Contoh perhitungan γ_{sat} baru pada lapisan berkonsistensi *very soft* (0 – 10) m sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{c_{baru}} &= e_{baru} / G_s \\ W_{c_{baru}} &= 1,86 / 2,7 \end{aligned} \tag{35}$$

$$\begin{aligned} W_{c_{baru}} &= 69\% \\ \gamma_{sat_{baru}} &= \left[G_s (1 + W_{c_{baru}}) / (1 + e_{baru}) \right] X \gamma_w \end{aligned} \tag{36}$$

$$\gamma_{sat_{baru}} = 1,59 \text{ t/m}^3$$

4) *Perubahan nilai sudut geser undrain (ϕ_u),*

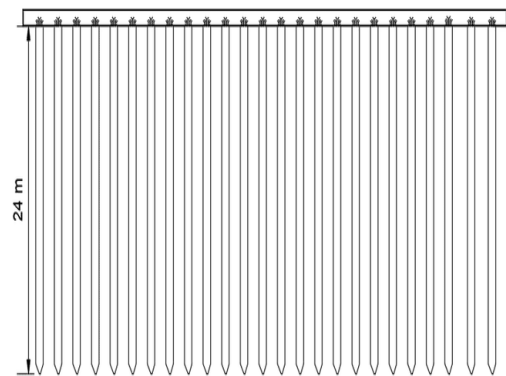
Contoh perhitungan ϕ_u baru pada lapisan tanah *very soft* zona 3 sebagai berikut:

$$C_{u_{baru}} = 23,16 \text{ t/m}^2 \tag{37}$$

$$\begin{aligned} q_{u_{baru}} &= 2 \times C_u \\ q_{u_{baru}} &= 46,32 \text{ t/m}^2 \end{aligned} \tag{38}$$

Korelasi q_u baru dengan nilai SPT menggunakan interpolasi linear pada tabel bowles, maka NSPT = 15.

Untuk tanah lempung nilai ϕ_u didekati dengan nilai NSPT sehingga ϕ_u baru = 14°



Gambar 11. Tampak potongan pondasi dalam.

B. *Analisa Stabilitas Sliding dengan Program Bantu Geo 5*

Berdasarkan SNI 8460 Pasal 7.5.5 Tahun 2017, SF rencana diambil 1,5. Dari hasil out put analisa stabilitas lereng untuk semua zona dengan peningkatan nilai parameter tanah didapatkan SF > 1,5 [2] sehingga lereng *shore protection* aman terhadap kelongsoran.

C. *Gambar Perencanaan Shore Protection*

Sketsa tampak potongan tipikal *shore protection* di Zona 1 dapat dilihat pada Gambar 8.

VIII. PERENCANAAN PONDASI TIPIKAL TANGKI TIMBUN

A. *Pembebanan Tangki Timbun*

Dalam pembebanan yang diperhitungkan untuk tangki timbun diantaranya sebagai berikut:

- 1) *Beban Mati,*
DL = 19690,0825 ton, dengan poer pondasi setebal 1,2 m dan dimensi 52 x 52 m
- 2) *Beban Hidup,*
LL = 270,4 ton [3] pasal 2.1.2.2
- 3) *Beban Angin*
WL = 78,5 ton [3] pasal 2.1.3.2
- 4) *Beban Gempa*
E = 7885,878 ton [4] dengan data spektral didapatkan melalui website *puskim.pu.go.id*.
- 5) *Kombinasi beban tiang dalam kelompok*
Kombinasi beban digunakan beban tak terfaktor pasal 15.2.2.

B. *Kontrol Settlement Pondasi Dangkal*

$$S_{total} = S_i + S_{c_{poer}} + S_{c_{tangki}} \tag{39}$$

$$\begin{aligned} S_{total} &= 1,212 \text{ m} \\ S_{izin} &= 5,08 \text{ cm} \end{aligned} \tag{40}$$

$S_{total} > S_t$ izin → (NOT OK), sehingga tidak direkomendasikan pondasi dangkal untuk perencanaan pondasi tangki timbun.

C. *Perencanaan Pondasi Dalam*

Pada perencanaan pondasi dalam digunakan material *Prestressed Concrete Piles Spun Pile* dengan $f'c$ 52 MPa produk WIKA Beton. Perencanaan pondasi dalam tangki dilakukan percobaan perhitungan untuk variasi diameter tiang yakni 30, 50, 60, dan 80 cm begitu juga variasi jarak antar tiang 2,5D dan 3D sehingga didapatkan kebutuhan pondasi dalam yang paling efisien dan aman.

1) Daya Dukung Pondasi Tunggal

Tangki timbun akan dibangun di area zona 3 sehingga perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data bor log 3. Perencanaan pondasi dalam digunakan daya dukung tiang tunggal terhadap nilai NSPT dengan metode *Luciano Decourt* dengan koreksi muka air tanah digunakan perumusan sebagai berikut :

$$Q_L = Q_p + Q_s \quad (41)$$

$$Q_p = \alpha \cdot N_{rata-rata}(p) \times K \times A_p \quad (42)$$

$$Q_s = \beta \times \left(\frac{N_{rata-rata}(s)}{3} + 1 \right) A_s \quad (43)$$

2) Kontrol Settlement Kondisi Floating

Dari hasil perhitungan daya dukung ultimate tiang tunggal pada zona 3 didapatkan grafik dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari hasil perhitungan penurunan dalam group konsolidasi dan elastis kondisi SF = 3 (*floating*) [5] didapatkan besar penurunan melebihi batas yang diizinkan oleh API 653 [6], oleh sebab itu maka panjang tiang diperpanjang hingga kedalaman *end bearing* yakni NSPT ≥ 50 pada kedalaman 24 m sehingga diasumsikan settlement konsolidasi tidak terjadi dan hanya settlement elastis yang terjadi.

3) Kontrol Kuat Bahan

Kontrol kuat bahan berdasarkan brosur spesifikasi *spunpile* Wika Beton. Adapun kontrol kuat bahan sebagai berikut :

- Kontrol *Axial Ultimate Spunpile*

- D = 80 cm; S = 2,5 D; L = 24 m
- $P_u = P_{izin\ tanah} = 188,95\ ton$
- $P_{izin\ axial} = (415; 406; 399; 389; 368)\ ton$

$P_u < P_{izin\ axial} \rightarrow OK$ untuk semua kelas

- Kontrol *Momen Crack Spunpile*

$$M_{pmax} = \left(\frac{P_h}{n} \right) \times F_m \times T \quad (44)$$

$$M_{pmax} = 33,97\ tm$$

- $M_{crack} = (40; 46; 51; 55; 65)\ tm$
- $M_{pmax} < M_{crack} \rightarrow OK$ untuk semua kelas

4) Kontrol Lateral

- Kontrol Defleksi Lateral

$$\delta p = F \delta \times \frac{P \cdot T^3}{E \cdot I} \quad (45)$$

$$\delta p = 1,16 < 1,2\ cm \rightarrow (OK)$$

- Kontrol Kuat Tiang Terhadap Gaya Lateral

$$H_u = \frac{2 \times M_u}{(e + z_f)}, \text{ untuk } fixed\ headed\ pile$$

$$H_u = 14,43\ ton \quad (46)$$

$$H_u > \left(\frac{P_h}{n} \right)$$

$$14,43 > 12,62\ ton \rightarrow (OK)$$

5) Pemilihan Variasi Tiang Pancang

Setelah dilakukan kontrol kuat bahan dan kontrol lateral [2] untuk semua variasi maka diputuskan variasi yang dapat digunakan untuk pondasi dalam tiang pancang adalah *spunpile* diameter 0,8 m dengan jarak antar tiang 2,5D (kelas A1).

6) Gambar Perencanaan

Hasil perencanaan pondasi tangka timbun dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

IX. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu: (1) Tinggi puncak *shore protection* didapatkan elevasi setinggi +4,78 m; (2)

Untuk mencapai tinggi final +4,78 m diperoleh $H_{inisial}$ timbunan dan batu *shore protection* untuk tiap zona adalah sebagai berikut:

- Timbunan

Zona 1 : $H_i = 7,61\ m$

Zona 2 : $H_i = 7,81\ m$

Zona 3 : $H_i = 7,73\ m$

- *Shore Protection*

Zona 1 : $H_i = 6,36\ m$

Zona 2 : $H_i = 6,63\ m$

Zona 3 : $H_i = 6,69\ m$

(3) Dari hasil perhitungan lama waktu pemampatan natural diperoleh waktu pemampatan lebih dari 100 tahun (cukup lama) sehingga direncanakan PVD dengan pola, jarak, dan kedalaman dengan tebal *sandrain* ditetapkan 1 m semua zona adalah sebagai berikut:

- Zona 1 = Segiempat ; S = 0,8 m ; L = 15 m

- Zona 2 = Segiempat ; S = 0,8 m ; L = 17 m

- Zona 3 = Segitiga ; S = 0,8 m ; L = 17 m

(4) Dimensi Stuktur *Shore Protection*:

- *Primary Layer*:

W = 150 kg; T = 1 m; D = 0,4 m

- *Secondary layer*:

W = 15 kg; T = 0,5 m; D = 0,2 m

- *Toe Protection*:

W = 20 kg; T = 1 m; D = 0,1 m

- *Core Layer*:

W = 1 kg; D = 0,1 m

(5) Berdasarkan hasil analisa *slope stability* dengan kondisi peningkatan daya dukung tanah oleh program bantu GEO 5 didapatkan nilai SF lebih dari 1,5 untuk setiap zona sehingga aman terhadap *sliding* / kelongsoran; (6) Perencanaan pondasi dangkal tangki timbun tidak disarankan karena penurunan yang dapat terjadi melebihi batas izin maksimum 5,08 cm yakni sebesar 1,212 m. Oleh sebab itu direncanakan pondasi dalam dengan *spunpile* diameter 0,8 m dengan jarak antar tiang 2 m dan kedalaman pemancangan hingga tanah keras sedalam 24 m.

B. Saran

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan, penulis memberikan saran yaitu: (1) Data parameter tanah akan lebih baik jika diperoleh dari hasil tes laboratorium sehingga didapatkan parameter tanah tanpa harus mengkorelasi data NSPT terlebih dahulu; (2) Perlu adanya permodelan lebih mendalam mengenai analisis gelombang air laut sehingga didapatkan tinggi gelombang signifikan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Triatmodjo, *Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset, 2011.
- [2] C. O. R. D. Putra, "Perencanaan shore protection dan tipikal pondasi pada area perluasan di proyek pembangunan PLTMG 50 MW PT. Perusahaan Listrik Negara, Sorong." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [3] D. P. Umum, "Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung." Jakarta DPU, 1987.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1726:2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2012.
- [5] Braja M. Das, *Principles of Geotechnical Engineering*. Stamford, USA, 2010.
- [6] A. P. Institute, *Tank Inspection, Repair, Alteration, And Reconstruction*, 5th ed. Washington, D.C: API Publishing Services, 2014.