

STUDI PENURUNAN SEDIMEN KUARTER DI PERAIRAN CIREBON, PROPINSI JAWA BARAT

Oleh :

Kris Budiono dan Purnomo Raharjo

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jln. Dr. Junjunan No. 236 Bandung-40174

SARI

Penelitian ini lebih difokuskan dalam mengaplikasikan data geologi teknik untuk menganalisis kemungkinan potensi penurunan sedimen Kuartar apabila didirikan suatu bangunan laut. Secara umum litologi daerah penelitian diperkirakan terdiri dari sedimen berumur Plistosen sampai Kuartar. Data yang dipergunakan adalah data hasil pemboran teknik di laut dengan uji SPT dan hasil analisa laboratorium mekanika tanah.

Berdasarkan pada perhitungan nilai SPT untuk setiap tiang pancang menunjukkan bahwa nilai daya dukung diijinkan (Q_a) adalah 83,726 ton. Perkiraan nilai penurunan (S_i) adalah 0,992 cm atau 0,390 inci.

Hasil perhitungan untuk dimensi dermaga yang direncanakan memperlihatkan bahwa beban total yang terjadi pada dermaga (q) adalah 2,18 ton/m². Potensi penurunan lapisan tanah berdasarkan hasil uji laboratorium adalah 2,35 cm. Lamanya penurunan untuk terjadinya konsolidasi 10% adalah 94,81 hari (3,16 bulan), konsolidasi 20% adalah 367,41 hari (1,06 tahun), konsolidasi 50% adalah 2334,81 hari (6,39 tahun) dan konsolidasi 90% adalah 100503,7 hari (27,54 tahun). Berdasarkan kondisi tersebut di atas, menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki potensi penurunan kecil dan dalam waktu yang relatif lama.

Kata kunci : geologi teknik, penurunan, bangunan laut, perairan Cirebon

ABSTRACT

The aim of the study is mainly to apply the engineering geological data for analyzing the settlement potency of Quaternary sediments if the sea construction is built. In general, the litology in the study area consist of Plistocene to Recent sediments. The data used in this study are the offshore cores, namely, the SPT test and soil mechanic analyses.

The SPT values of each pile shows that the allowable bearing capacity value is 83,726 ton. The estimation of settlement value (S_i) is 0,992 cm or 0,390 inches.

The total sediment loaded at the port (q) is 2,18 ton/m², whereas based on the laboratory test analysis, it shows that the potential of soil settlement layer is 2,35 cm. The settlement period for 10% of consolidation is 94,81 days (3,16 months), 20% of consolidation is 367,41 days (1,06 years), 50% of consolidation is 2334,81 days (6.39 years), and 90% of consolidation is 100503,7 days (27.54 years). The above conditions indicate that the settlement in the study area is under going subsidence in small potential and in relatively long period.

Key word : engineering geology, settlement, offshore structur, Cirebon waters

PENDAHULUAN

Subjek penelitian adalah tentang potensi penurunan sedimen Kuartar di perairan Cirebon, Propinsi Jawa Barat. Beberapa daerah di kawasan Pantai Utara Jawa sering mengalami penurunan yang diakibatkan oleh pembangunan yang kurang perhitungan. Hal ini bisa terjadi karena pembangunan yang dilakukan melebihi nilai daya dukung tanahnya.

Tanah atau sedimen merupakan salah satu unsur alam yang memegang peran penting di dalam perencanaan pembangunan. Oleh karena itu penelitian geologi teknik kelautan dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dan sifat-sifat fisik sedimen daerah tersebut yang akan digunakan sebagai tapak dermaga. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat $108^{\circ}32''$ - $108^{\circ}42'$ Bujur Timur dan $6^{\circ}36'$ - $6^{\circ}48'$ Lintang Selatan (**Gambar 1**).

Di bagian selatan merupakan daerah pegunungan dengan ketinggian maksimum kurang lebih 3078 meter di atas muka laut. Secara administratif lokasi daerah penelitian

berbatasan dengan beberapa wilayah seperti di bawah ini.

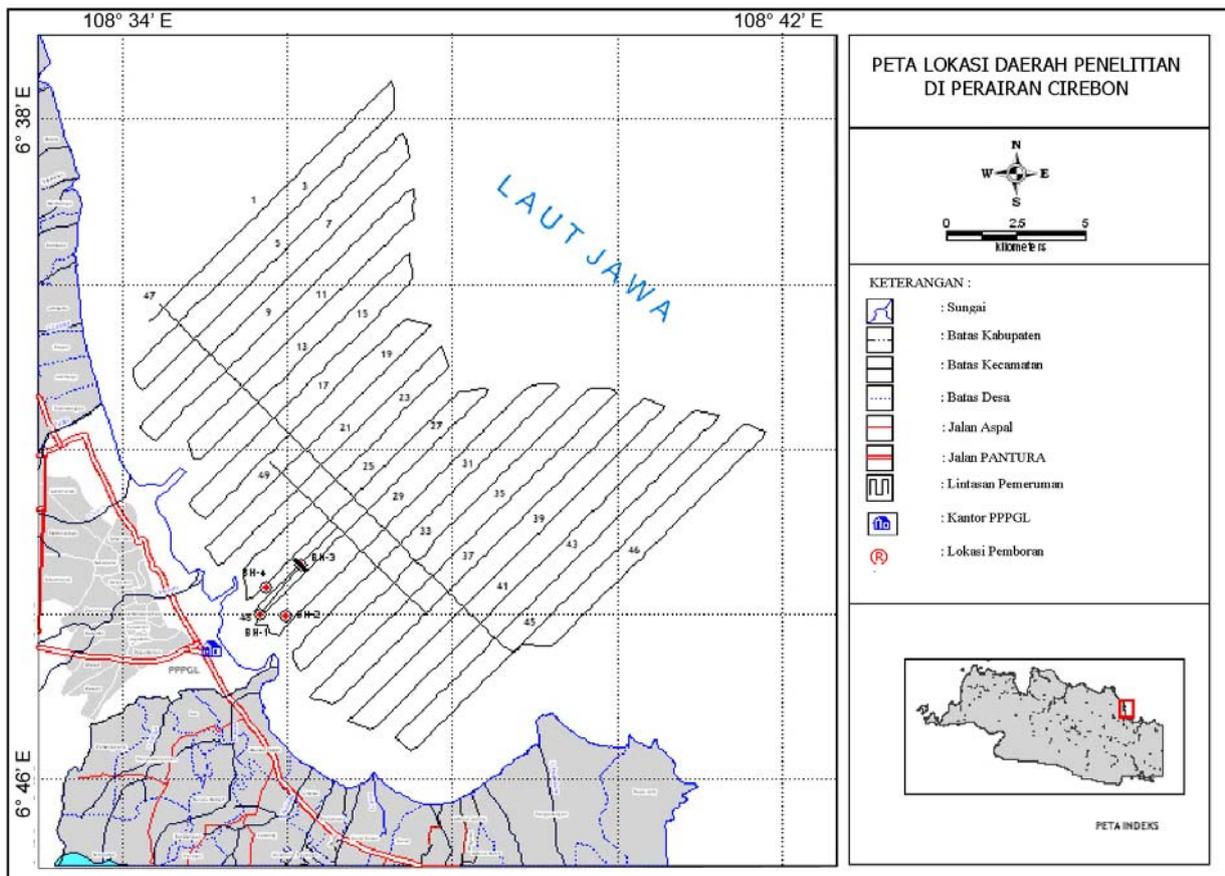
- Sebelah utara adalah Laut Jawa.
- Sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Tegal.
- Sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Kuningan.
- Sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Majalengka.

METODE PENELITIAN

Untuk mencapai sasaran yang diinginkan, beberapa metode penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

Pemboran Inti

Pemboran inti dilakukan untuk mendapatkan contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*), tanah terganggu (*disturbed sample*), dan uji *insitu* (*standard penetration test*). Pelaksanaan pemboran dilakukan pada empat lokasi terpilih di laut yang dinilai berpotensi sebagai tapak pembangunan dermaga. Data hasil



Gambar 1. Peta Lokasi daerah penelitian, pemboran dan lintasan pemeruman

standard penetration test (SPT) ini dipergunakan untuk perhitungan daya dukung dan potensi penurunan tanah atau sedimen di daerah penelitian. Selain itu SPT digunakan juga untuk mendapatkan data densitas dan konsistensi tanah sebagai bahan pertimbangan dalam perancangan pondasi dalam (*deep foundation*). Beban penumbuk (*drive weight*) yang digunakan seberat 63 kg. Tumbukan yang dilakukan adalah setiap 15 cm dengan tiga kali percobaan sehingga total kedalaman pengujian adalah 45 cm. Jumlah tumbukan untuk memasukkan setiap kedalaman 15 cm dicatat. Nilai tumbukan (N) yang dipergunakan adalah N2 dan N3 pada jumlah kedalaman 30 cm. Diharapkan dari data pemboran ini akan didapat informasi selengkap-lengkapannya meliputi keadaan geologi bawah permukaan dasar laut, sifat fisik dan mekanik yang dapat ditentukan melalui proses analisis laboratorium.

Pengamatan Pasang Surut

Pengamatan pasang surut dilakukan selama 15 piamtan dimulai, tanggal 21 Juni hingga 5 Juli 2005, dengan pembacaan rambu (*piel schall*) setiap satu jam yang ditempatkan di kolam pelabuhan Cirebon. Data pasang surut ini dipergunakan untuk mengetahui tipe pasang surut di daerah penelitian dan koreksi terhadap data kedalaman laut. Datum yang digunakan adalah muka surutan terendah (*low water sea*), koreksi pasang surut dilakukan menggunakan metoda *British Admiralty* (Doodson dan Warburg, 1936).

Pemeruman

Pemeruman dimaksudkan untuk mengoreksi dan mengukur kedalaman dasar laut daerah penelitian, sehingga dapat dipakai untuk menentukan lokasi pemboran. Peralatan yang digunakan adalah Echosounder Odom Hydrotrac 200 Khz.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pasang Surut

Data pasang surut dalam penelitian ini digunakan sebagai dasar penentuan datum pada lokasi rencana bangunan dermaga. Hasil koreksi pembacaan pasang surut digunakan untuk menentukan sifat atau tipe pasang surut, hitungan muka surutan (*low water sea*), duduk

tengah (*mean sea level*) dan perhitungan air tinggi (*high water sea*). Datum yang digunakan di daerah penelitian adalah hitungan muka surutan (*low water sea*). Selanjutnya muka surutan ini digunakan sebagai acuan terhadap data pengukuran kedalaman dasar laut. Hasil pembacaan pasang surut di daerah penelitian digambarkan dalam grafik pada Gambar 2.

Dari hasil koreksi pembacaan data pasang surut didapatkan konstanta harmonik seperti dalam Tabel 1 di bawah :

Sifat atau tipe pasang surut di daerah penelitian ditentukan berdasarkan harga bilangan Fromzal (F) hasil perhitungan dengan rumus sebagai berikut (*British Admiralty Method*):

$$F = \frac{(AK1 + AO1)}{(AM2 + AS2)}$$

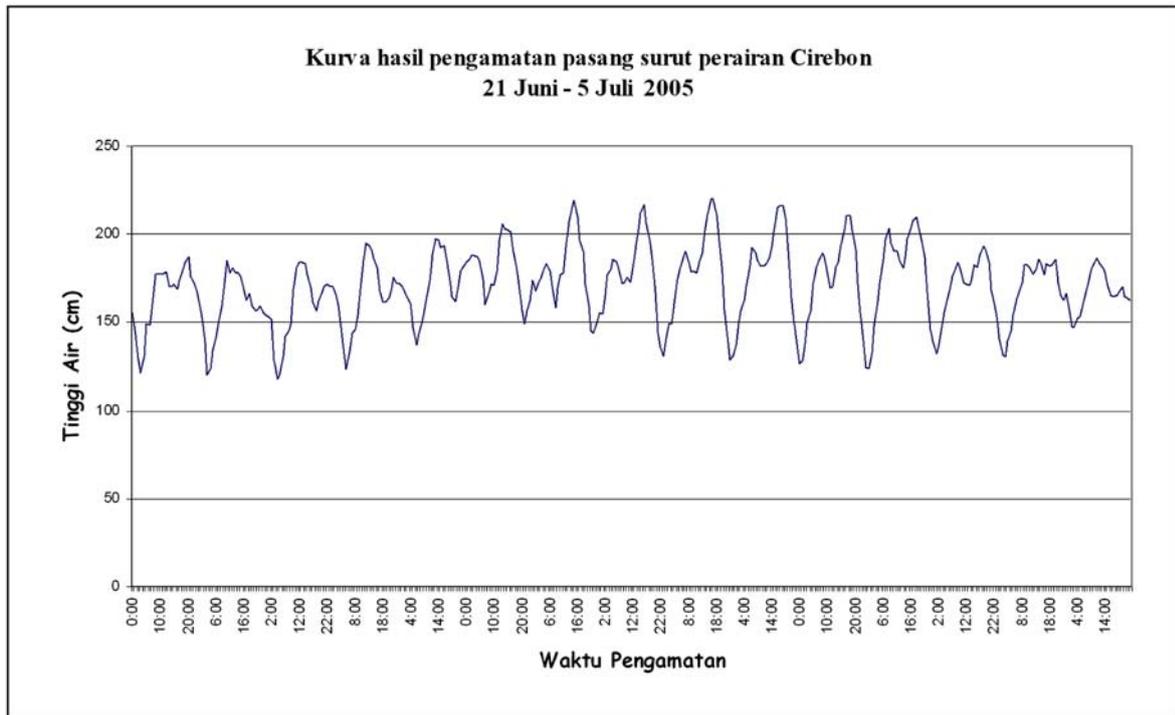
Bilangan Fromzal (F) = $(21.32 + 1.86) / (15.43 + 8.39) = 0.976$

Dari bilangan Fromzal diketahui sifat atau tipe pasang surut di perairan Cirebon adalah campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*), artinya dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

Berdasarkan perhitungan muka surutan dan air tinggi serta pengukuran sifat datar (*leveling*) diperoleh hasil sebagai berikut :

- Tinggi *bench mark* (BM) terhadap nol rambu pasang surut 563.65 cm.
- Tinggi duduk tengah terhadap nol rambu pasang surut 171.24 cm.
- Tinggi *bench mark* (BM) terhadap duduk tengah : 226.46 cm.
- Muka surutan (Zo) 62.67 cm.
- Tinggi *bench mark* (BM) terhadap muka surutan 455.08 cm.
- Tinggi muka surutan terhadap nol rambu pasang surut 108.57 cm.
- Tinggi air tinggi (HWS) terhadap duduk tengah 60.51 cm.
- Tinggi BM terhadap air tinggi (HWS) 165.95 cm.

Kedudukan tinggi *bench mark* (BM) hasil pengukuran di pelabuhan Cirebon terhadap muka surutan (LWS), duduk tengah (MSL), air tinggi (HWS) dan nol rambu ukur pasang surut



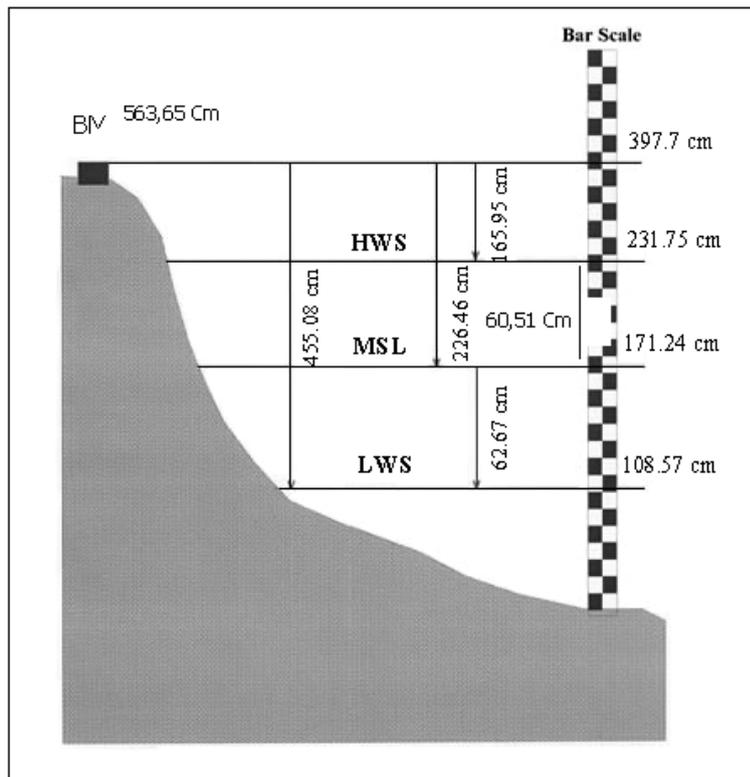
Gambar 2. Kurva hasil pengamatan pasang surut daerah penelitian

Tabel 1. Hasil akhir perhitungan konstanta harmonik data pasang surut di pelabuhan Cirebon

	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A (cm)	171.24	15.43	8.39	3.99	1.93	21.32	1.86	7.0	0.81	0.19
g		307.25	160.38	295.45	160.38	53.26	123.99	0.0	28.72	160.42

dimana :

- An : Amplitudo harmonik ke – n
- g (°): Fase perlambatan
- So : Tinggi muka laut rata-rata diatas titik nol rambu
- M2 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh posisi bulan
- S2 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh posisi matahari
- N2 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh perubahan jarak bulan
- K2 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh perubahan jarak matahari
- O1 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan
- P1 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh deklinasi matahari
- K1 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh deklinasi matahari dan bulan
- M4 : Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh bulan sebanyak 2 kali (2xM2)
- MS4: Konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh interaksi antara M2 dan S2



Gambar 3. Kedudukan vertikal titik referensi (bench mark) terhadap datum vertikal muka surutan terendah (LWS) di Pelabuhan Cirebon.

pada stasiun pengamatan pasang surut di Pelabuhan Cirebon seperti pada Gambar 3.

Kedalaman Laut

Peta batimetri dasar laut daerah penelitian diperlukan untuk menentukan lokasi pemboran sebagai lokasi tapak pembangunan dermaga. Selain itu dengan mengetahui batimetri dapat diketahui kondisi morfologi daerah penelitian mengingat sedimentasi di daerah ini cukup aktif. Berdasarkan hasil pengukuran batimetri yang telah dikoreksi terhadap datum pasang surut didapatkan gambaran bahwa kedalaman dimulai dari 0,5 m hingga 10,0 m. Peta kontur batimetri memperlihatkan secara keseluruhan morfologi dasar laut di daerah penelitian yang cukup landai dengan ditandai oleh pola kontur yang renggang dan menerus ke arah laut lepas (Gambar 4). Pola kontur di bagian utara daerah penelitian memperlihatkan pola yang menerus secara gradual dan renggang yang menandakan morfologi landai. Morfologi landai ini dari hasil pengukuran cukup jauh mencapai lebih kurang 4 mil ke laut lepas. Pola kontur ke arah lokasi pemboran agak merapat dan membelok pada bagian tanjung, pola ini sesuai dengan

karakteristik pantainya berupa teluk dan tanjung.

Geologi Bawah Permukaan Dasar Laut

Penafsiran geologi bawah permukaan dasar laut didasarkan kepada hasil pemboran inti dan hasil pengujian SPT. Hasil pemerian dari masing-masing pemboran inti tersebut adalah sebagai berikut:

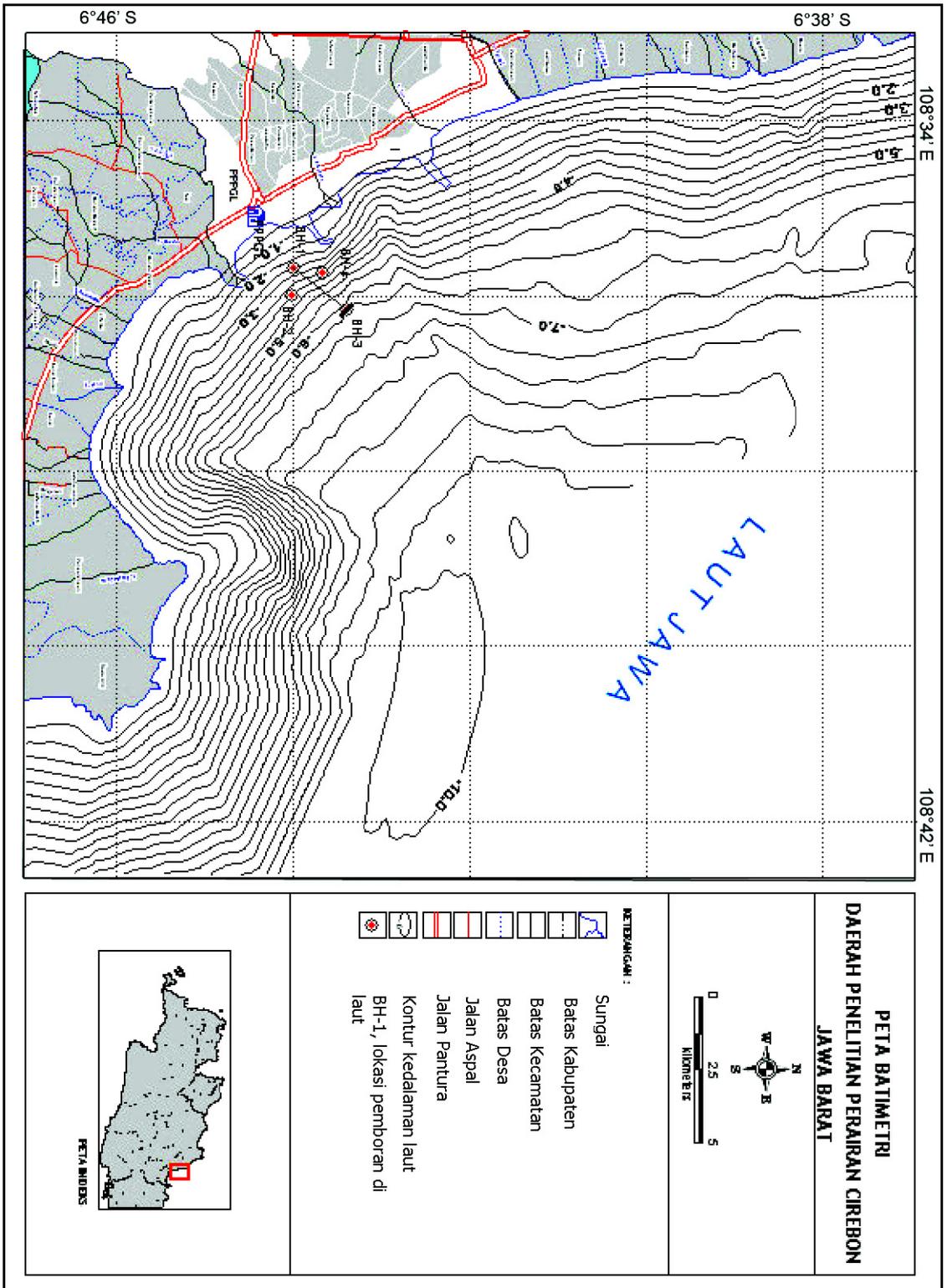
Lapisan paling atas, antara kedalaman 0–4m (BH-1) dan 0-6m (BH-3) tersusun oleh lempung lanauan, sangat lunak dengan nilai SPT 0 Gambar 5.

Di bawah lapisan lempung lanauan, dari kedalaman antara 4m - 24,45m (BH-1) dan kedalaman 6 m - 24,0 m (BH-3) didominasi oleh endapan lempung dengan sisipan tufa pasir dengan ketebalan 3,50 m. Endapan lensa berupa pasir kerakalan ditemukan pada BH-1 antara kedalaman 12,00 m - 12,50m. Endapan pasir halus di dalam lempung ditemukan pada BH-3 antara kedalaman 12,50m- 20,50 m.

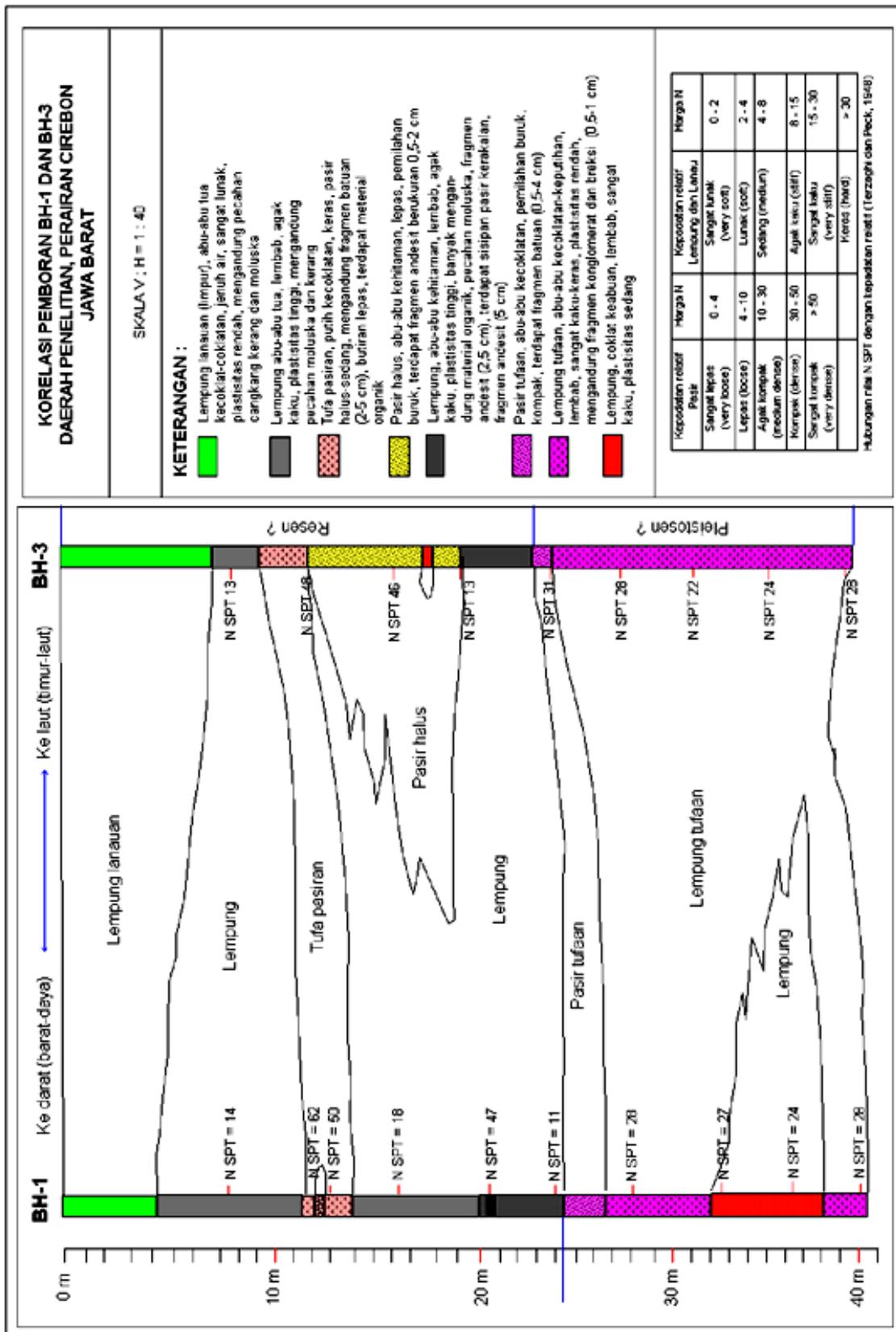
Sedimen lempung pada BH-1 hasil *Standard Penetration Test* (SPT), memiliki konsistensi relatif agak kaku (*stiff*) dengan nilai tumbukan (N)=11 hingga N 14 antara kedalaman 6 m - 24,45 m. Sisipan tufa pasir hasil uji lapangan (SPT) yaitu N 50 hingga N 62, memiliki densitas relatif sangat padat (*very dense.*) Endapan lensa berupa pasir kerakalan hasil uji di lapangan (SPT), adalah N 47 memiliki densitas relatif padat (*dense*).

Lapisan sedimen lempung pada BH-3 hasil uji di lapangan (SPT) dengan nilai N 13 memiliki konsistensi relatif agak kaku (*stiff*) antara kedalaman 0 m - 24,0 m. Sisipan tufa pasir hasil uji lapangan (SPT) yaitu N 48, memiliki kepadatan relatif kompak (*dense*) dengan ketebalan 2,5 m.

Lapisan sedimen bagian bawah hasil deskripsi litologi antara kedalaman 24,45 - 40,45 m (BH-1) dan kedalaman 24,00 hingga 41,00 m (BH-3) didominasi oleh endapan lempung tufaan berselingan dengan pasir tufaan. Endapan lempung ditafsirkan berupa lensa di dalam



Gambar 4. Peta batimetri daerah penelitian



Gambar 5. Data hasil pemboran BH-1 dan BH-3 yang dikorelasi berdasarkan deskripsi litologi

lempung tufaan (BH-1) antara kedalaman 32,00m - 38,00 m.

Sedimen lempung tufaan pada BH-1 hasil uji lapangan (SPT), memiliki kepadatan relatif sangat kaku (*very stiff*) dengan nilai N 24 hingga N 28 antara kedalaman 24,00 m - 40,45 m. Sedimen lempung tufaan pada BH-3 hasil uji lapangan (SPT), memiliki kepadatan relatif sangat kaku (*very stiff*) hingga keras (*hard*) dengan nilai N 22 hingga N 31 antara kedalaman 24,00 m - 41,00 m.

Kesebandingan litologi hasil pemboran dengan geologi regional daerah penelitian (Silitonga drr., 1996), dapat ditafsirkan bahwa lapisan sedimen bagian atas antara kedalaman 0-24,45 m dengan konsistensi agak kaku (*stiff*) merupakan endapan pantai. Hasil penentuan umur sedimen permukaan dasar laut berdasarkan *dating* ^{210}Pb setiap 3 cm dari ketebalan 0-18 cm adalah 9,371- 115,207 tahun dapat dikatakan sedimen permukaan dasar laut merupakan sedimen baru atau berumur Resen (Raharjo drr., 2005)

Sedimen bagian bawahnya antara kedalaman 24,00 m - 41,00 m dengan konsistensi relatif sangat kaku (*very stiff*) hingga keras (*hard*). Jika dibandingkan dengan geologi regional daerah penelitian, dapat ditafsirkan bagian dari Formasi Gintung berumur Plistosen Tengah hingga Akhir. Secara keseluruhan sedimen di daerah penelitian merupakan endapan Plistosen sampai Kuartar

Perhitungan Daya Dukung dan Penurunan Lapisan Tanah Berdasarkan Data *Standard Penetration Test (SPT)*

Perhitungan daya dukung dan penurunan lapisan tanah di daerah penelitian menggunakan data hasil pemboran dan uji langsung SPT. Nilai SPT hasil pemboran dapat memberikan gambaran secara langsung tentang kepadatan relatif (*relative density*) setiap lapisan sedimen. Kisaran nilai uji SPT yang diperoleh pada kedalaman lapisan tanah atau sedimen digambar berupa arsir, tetapi bukan merupakan kesebandingan litologi (Gambar 6 dan 7).

Dari hasil pengujian SPT tersebut diasumsikan akan didirikan suatu pondasi tiang pancang dengan diameter 60 cm. Supaya tidak terjadi penekukan, maka pondasi akan bertumpu pada kedalaman -24.00 m dari nilai SPTnya

dimana lapisan tanah sudah keras untuk mendukung pondasi.

Secara teori daya dukung tanah sebaiknya tertumpu pada lapisan tanah yang keras.

Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Dari hasil pemboran diketahui hampir secara keseluruhan litologi di daerah penelitian merupakan lempung. Daya dukung tanah lempung tergantung pada konsistensi atau kuat gesernya. Konsistensi dapat diperoleh dari beberapa pengujian, seperti SPT, pengujian tekan bebas (*unconfined compression test*) dan pengujian triaksial. Untuk menghitung daya dukung pondasi pada tanah lempung di daerah penelitian digunakan nilai SPT dengan rumus seperti di bawah ini (Mayerhof, 1976, dalam Bowles, 1988)

$$Q_u = Q_s + Q_b \quad (1)$$

dimana :

Q_u = Daya dukung *ultimate* (ton)

Q_s = Daya dukung selimut/*skin resistance* (ton)

Q_b = Daya dukung *base* pondasi (ton)

$$Q_s = A_s \times 0,20 N \quad (2)$$

dimana :

Q_s = Daya dukung selimut/*skin resistance* (ton)

A_s = Keliling tiang x panjang tiang (m^2)

N = Nilai SPT tanah

0,20 = Nilai konstanta

Contoh perhitungan daya dukung selimut/*skin resistance* (Q_s) yang dilakukan pada BH-1, diketahui kedalaman lapisan tanah pertama adalah 8 m, maka panjang tiang yang dihitung sesuai kedalaman lapisan tanah. Jumlah lapisan tanah dari kedalaman -8 m hingga -24 m diasumsikan ada 6 lapisan.

Diameter tiang,

$$D = 2 \times r = 2 \times 0,3 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$$

$$N \text{ SPT pada lapisan 1} = 14 \text{ ton/m}^2$$

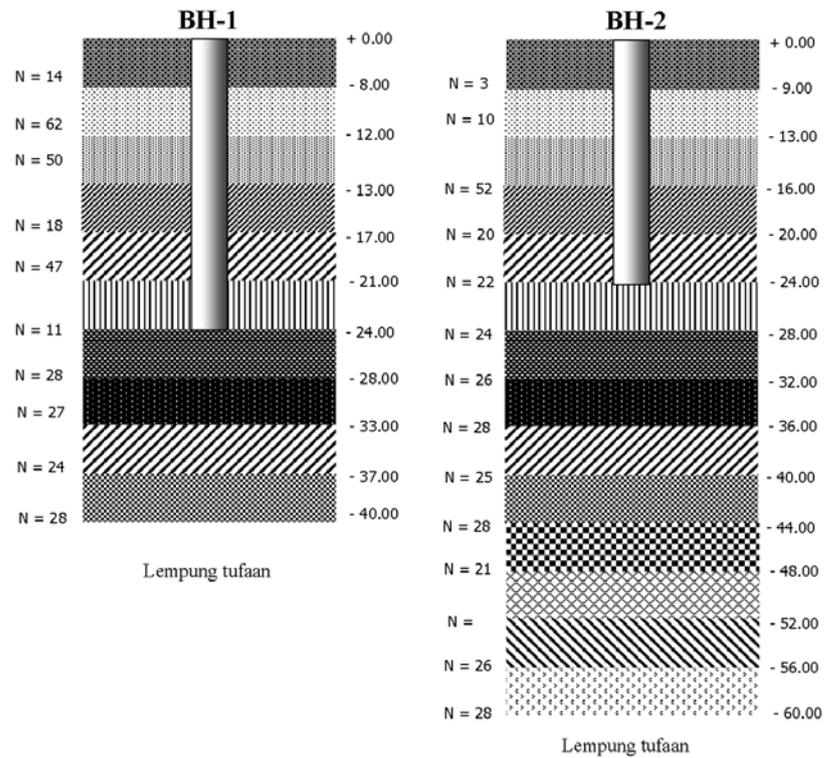
$$Q_{s1} = A_s \times 0,20 N$$

$$Q_{s1} = (2 \pi r \times L) \times 0,20 N$$

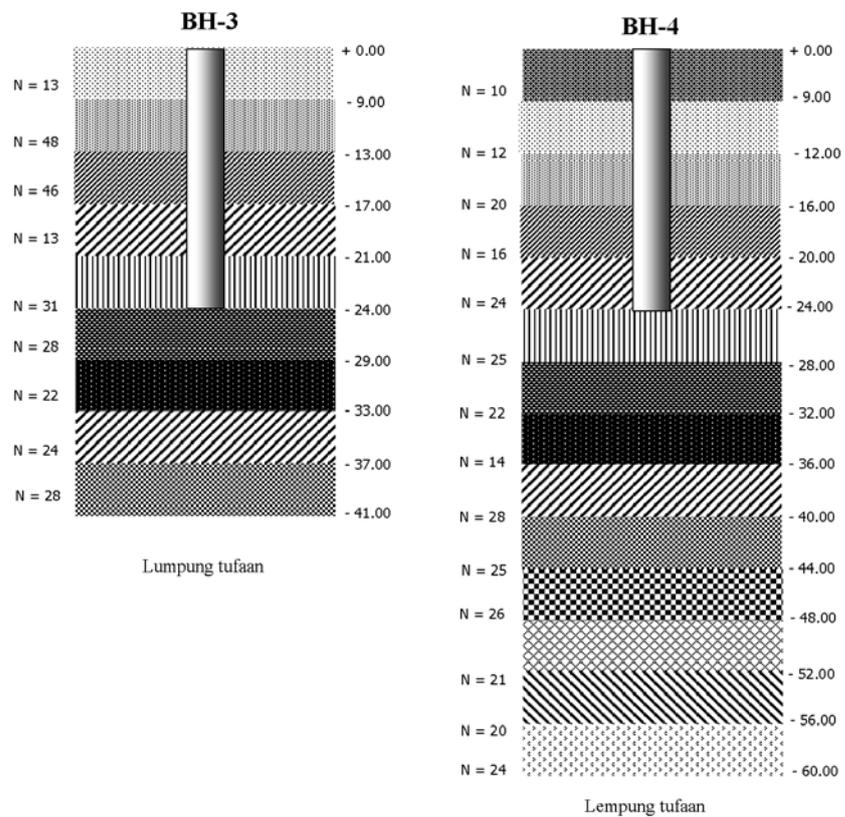
$$Q_{s1} = (\pi D \times L) \times 0,20 N$$

$$Q_{s1} = (3,14 \times 0,6 \times 8) \times (0,20 \times 14)$$

$$Q_{s1} = 42,24 \text{ ton}$$



Gambar 6. Hubungan nilai SPT pada kedalaman lapisan tanah BH-1 dan BH-2



Gambar 7. Hubungan Variasi kisaran SPT pada kedalaman lapisan tanah BH-3 dan BH-4

Selanjutnya hasil nilai Q_s pada BH-1 adalah jumlah Q_{s1} hingga Q_{s6} (kedalaman lapisan -8 m hingga -24 m).

Dari hasil uji langsung pada pemboran diketahui bahwa nilai SPT di masing-masing kedalaman $N > 15$, maka nilai tahanan ujung dasar (P_b) pada tanah lempung adalah $300 + 10(N-15)$ dimana N adalah nilai SPT dibawah ujung dasar pondasi.

Contoh perhitungan daya dukung dasar pondasi (Q_b) yang dilakukan pada BH-1, diketahui N SPT di bawah ujung dasar pondasi adalah 28. Selanjutnya daya dukung dasar pondasi (Q_b) dihitung juga pada BH-2, BH-3 dan BH-4.

$$Q_b = A_b \times P_b \quad (3)$$

dimana :

Q_b = Daya dukung dasar pondasi (ton)

A_b = Luas tiang = πr^2 (m²)

P_b = Tahanan ujung dasar

$Q_b = A_b \times P_b$

$Q_b = \pi r^2 \times \{(300 + 10(N-15))\}$

$Q_b = (3,14 \times 0,3 \times 0,3) \times \{(300 + 10(28-15))\}$

$Q_b = 0,2828 \times 430$

$Q_b = 121,629$ ton

Nilai daya dukung yang dihitung dengan rumus di atas adalah tegangan terbesar yang dapat dipikul di atas tanah tersebut. Nilai daya dukung yang diijinkan (Q_a) dalam perencanaan pondasi adalah nilai daya dukung *ultimate* (Q_u) dibagi dengan faktor keamanan (**Tabel 3**). Faktor keamanan ini biasanya diambil sebesar tiga (3), (Wesley, 1977).

Untuk perhitungan penurunan tanah maka diambil nilai Q_a minimum sebagai daya dukung yang diijinkan dari tiang pancang pada rencana dermaga.

Perhitungan Penurunan

Untuk menghitung penurunannya digunakan rumus berikut (Prakash, drr., 1990):

$$S_t = \frac{B}{100} + \frac{(Q_a \cdot L)}{A_p \cdot E_p}$$

dimana :

S_t = Besarnya penurunan (m)

Q_a = Daya dukung izin (ton)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas tiang = πr^2 (m²)

E_p = Modulus elastisitas beton 26×10^5 ton/m² (Prakash dan Sharma, 1990)

B = Diametar tiang (m)

$$\begin{aligned} S_t &= \frac{B}{100} + \frac{(Q_a \cdot L)}{A_p \cdot E_p} = \frac{0,6}{100} + \frac{(83,276 \times 24)}{0,2826 \times 26 \cdot 10^5} \\ &= 0,006 + 0,0027 = 0,0087 \text{ m} = 0,87 \text{ cm} \\ &= 0,342 \text{ inchi} \end{aligned}$$

Besarnya penurunan tanah yang masih memenuhi kriteria daya dukung yang diijinkan (Q_a) adalah < 1 inchi atau 2,54 cm (Meyerhof, 1956 dalam Hardiyatmo, 1992). Hasil perhitungan penurunan tanah berdasarkan daya dukung yang diijinkan (Q_a) di daerah penelitian adalah 0,342 inchi atau 0,87 cm. Hasil perhitungan penurunan tanah dengan pondasi tiang tersebut masih memenuhi kriteria daya dukung yang diijinkan (Q_a) atau penurunan yang akan terjadi sangat kecil.

Tabel 3. Hasil perhitungan Q_s , Q_b , Q_u dan Q_a

No.	Titik Bor	Q_s (ton) (Skin Friction)	Q_b (ton) (Base Plat)	Q_u (ton) daya dukung ultimate	Q_a (ton) daya dukung dijijinkan
1.	BH 1	265,131	121,629	386,760	128,920
2.	BH 2	147,463	110,314	257,777	85,926
3.	BH 3	240,617	121,629	362,246	120,749
4.	BH 4	138,034	113,143	251,177	83,726

Catatan : Faktor Keamanan = 3 (Wesley, 1977)

Perhitungan Penurunan Berdasarkan Data Hasil Analisis Laboratorium

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/air di dalam tanah tersebut (Wesley,1977).

Berdasarkan pengujian SPT yang telah dilakukan pada setiap kedalaman 4 m maka analisis penurunan lapisan sedimen Kuarter dari lapisan keras mulai kedalaman 24 m sampai 40 m terdapat empat lapisan di bawah rencana pondasi dermaga seperti diperlihatkan pada Gambar 8.

Data hasil analisis mekanika tanah yang dipergunakan untuk perhitungan penurunan tanah yaitu densitas (γ), koefisien konsolidasi (C_c) dan angka pori (e_0). Data yang akan digunakan pada perhitungan penurunan tanah dari setiap kedalaman lapisan sedimen di bawah pondasi seperti pada Tabel 4.

Berdasarkan kebutuhan yang diinginkan perencanaan dermaga diasumsikan memiliki dimensi dermaga seperti di bawah ini.

Panjang dermaga (L) = 120 m

Lebar dermaga (B) = 15 m

Luas dermaga (A) = $B \times L = 1800 \text{ m}^2$

Tebal pelat lantai (T) = 30 cm = 0,3 m

Densitas beton (γ_{beton}) = 2,4 ton/m³

Luas tiang pancang (A_{tiang}) = $\pi r^2 = 3,14 \times 0,3 \times 0,3$

= 0,2826 m²

Panjang tiang pancang (L_{tiang}) = 24 m

Jumlah tiang pancang (J) = 25 buah x 4 buah = 100 buah

Jarak antar tiang = 5 m

Berat beban vertikal diasumsikan (V) = 1000 ton

Beban yang terjadi pada dermaga :

Beban pelat lantai dermaga

= $T \times L \times B \times \gamma_{beton}$

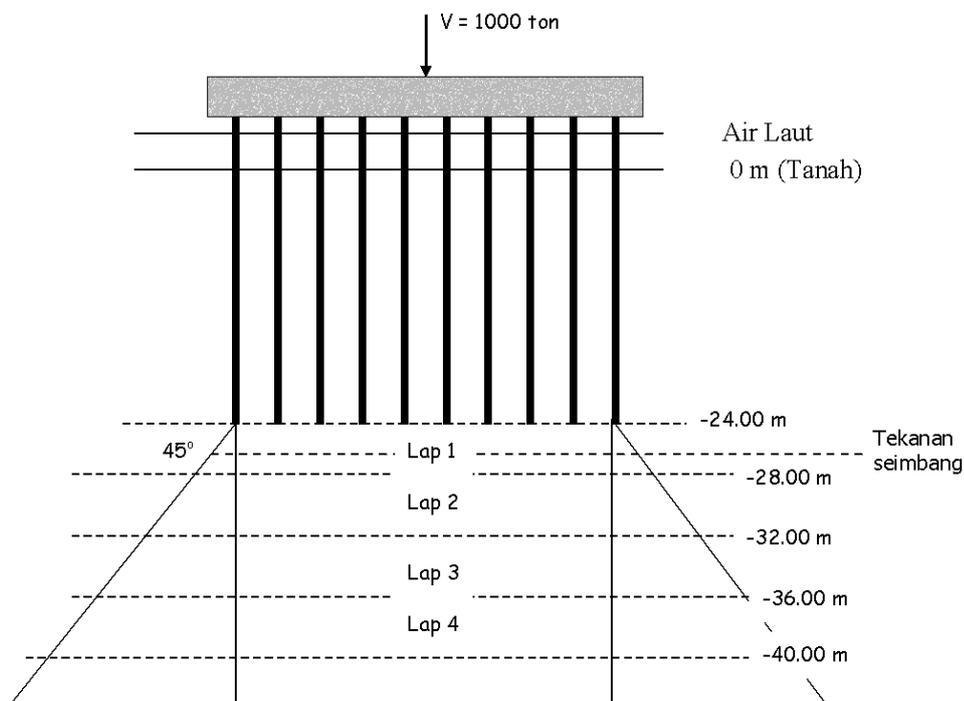
= $0,3 \times 120 \times 15 \times 2,4 = 1296 \text{ ton}$

Berat tiang pancang

= $J \times A_{tiang} \times L_{tiang} \times \gamma_{beton}$

= $100 \times 0,2826 \times 24 \times 2,4 = 1627,78 \text{ ton}$

Jadi, berat total (V_{tot}) = 3923,78 ton



Gambar 8. Analisis penurunan lapisan sedimen kuarter dibawah rencana pondasi dermaga

Tabel 4. Data hasil analisis mekanika tanah densitas (γ), koefisien konsolidasi (C_c) dan angka pori (e_o)

Lapisan tanah	Densitas tanah γ (ton/m ³)	Indeks pemampatan (C_c)	Angka pori (e_o)
Lapisan 1	1,863	0,270	0,826
Lapisan 2	1,863	0,270	0,826
Lapisan 3	1,873	0,229	0,620
Lapisan 4	1,882	0,219	0,521

$$q = \frac{V_{tot}}{A} = \frac{3923,78}{1800} = 2,18 \text{ ton/m}^2$$

$$m = \frac{B}{Z_1} = \frac{7,5}{26} = 0,29$$

$$n = \frac{L}{Z_1} = \frac{60}{26} = 2,31$$

dimana :

q = beban yang terjadi pada dermaga (ton/m²)

Perhitungan Penurunan pada Lapisan 1

Penurunan tanah pada lapisan 1 akan mencapai tekanan seimbang ke bawah (tan 45°) pada kedalaman Z_1 adalah -26,00 m.

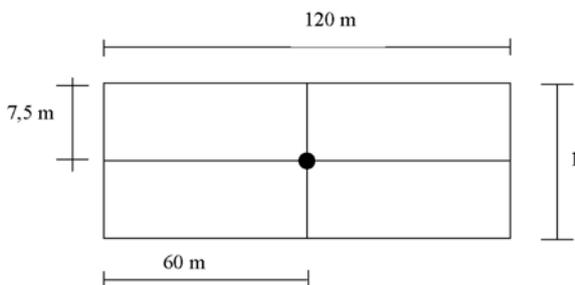
Panjang tekanan seimbang

$$(L_1) = L + (2 \times 2 \tan 45^0) = 120 + 4 = 124 \text{ m}$$

Lebar tekanan seimbang

$$(B_1) = B + (2 \times 2 \tan 45^0) = 15 + 4 = 19 \text{ m}$$

$$\text{Luas tekanan seimbang } (A_1) = B_1 \times L_1 = 2356 \text{ m}^2$$



Untuk menentukan tegangan vertikal di pusat beban, di bawah luasan empat persegi panjang maka luasan dibagi menjadi 4 bagian yang sama, jadi panjang (L) yang dihitung adalah 60 m dan lebar (B) adalah 7,5 m. Untuk menghitung tambahan tegangan akibat adanya bangunan (ΔP) nilai faktor pengaruh I perlu diketahui terlebih dahulu. Nilai faktor pengaruh I digambarkan dalam bentuk grafik (Gambar II.4), didapat dari perhitungan nilai m dan nilai n seperti dibawah ini.

Dari grafik variasi I terhadap m dan n didapat i adalah 0,09, sehingga nilai faktor pengaruh

$$I = i \times 4 = 0,09 \times 4 = 0,36.$$

Tambahan tegangan akibat adanya bangunan (ΔP) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{A}{A_1} \times q \times I = \frac{1800}{2356} \times 2,18 \text{ ton/m}^2 \times 0,36 \\ &= 1,67 \text{ t/m}^2 \times 0,36 = 0,60 \text{ t/m}^2 = 600 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Tegangan efektif semula (P_o) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} P_o &= Z_1 \times \gamma_1 = 26 \times 1,863 \\ &= 48,44 \text{ t/m}^2 = 48440 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Penurunan tanah pada lapisan 1 (Sc_1) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} Sc_1 &= \frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) = \frac{0,270}{1+0,826} 26 \log \left(\frac{48440+600}{48440} \right) \\ &= 0,021 \text{ m} = 21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penurunan pada Lapisan 2

Penurunan tanah pada lapisan 2 akan mencapai tekanan seimbang ke bawah (tan 45°) pada kedalaman Z_2 adalah -30.00 m

Panjang tekanan seimbang

$$(L_2) = L + (2 \times 6 \tan 45^0) = 120 + 12 = 132 \text{ m}$$

Lebar tekanan seimbang

$$(B_2) = B + (2 \times 6 \tan 45^0) = 15 + 12 = 27 \text{ m}$$

Luas tekanan seimbang

$$(A_2) = B_2 \times L_2 = 3564 \text{ m}^2$$

Nilai faktor pengaruh I digambarkan dalam bentuk grafik (Gambar II.4), didapat dari perhitungan nilai m dan nilai n seperti dibawah ini.

$$m = \frac{B}{Z_2} = \frac{7,5}{30} = 0,25$$

$$n = \frac{L}{Z_2} = \frac{60}{30} = 2,00$$

Dari grafik variasi I terhadap m dan n didapat i adalah 0,075, sehingga nilai faktor pengaruh

$$I = i \times 4 = 0,075 \times 4 = 0,3.$$

Tambahan tegangan akibat adanya bangunan (ΔP) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{A}{A_2} \times q \times I \frac{1800}{3564} = x \, 2,18 \text{ ton/m}^2 \times 0,3 \\ &= 0,96 \text{ t/m}^2 \times 0,3 = 0,33 \text{ t/m}^2 = 330 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Tegangan efektif semula (P_o) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} P_o &= (Z_1 \times \gamma_1) + (2x\gamma_2) \\ &= (28 \times 1,863) + (2 \times 1,863) \\ &= 55,89 \text{ t/m}^2 = 55890 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Penurunan tanah pada lapisan 2 (Sc_2) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} Sc_2 &= \frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) = \frac{0,270}{1+0,826} 4 \log \left(\frac{55890+330}{55890} \right) \\ &= 0,0014 \text{ m} = 1,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penurunan pada Lapisan 3

Penurunan tanah pada lapisan 3 akan mencapai tekanan seimbang ke bawah (tan 45°) pada kedalaman Z_3 adalah -34.00 m

Panjang tekanan seimbang

$$(L_3) = L + (2 \times 10 \tan 45^0) = 120 + 20 = 140 \text{ m}$$

Lebar tekanan seimbang

$$(B_3) = B + (2 \times 10 \tan 45^0) = 15 + 20 = 35 \text{ m}$$

Luas tekanan seimbang

$$(A_3) = B_3 \times L_3 = 4900 \text{ m}^2$$

Nilai faktor pengaruh I digambarkan dalam bentuk grafik (Gambar II.4), didapat dari perhitungan nilai m dan nilai n seperti dibawah ini.

$$m = \frac{B}{Z_3} = \frac{7,5}{34} = 0,22$$

$$n = \frac{L}{Z_3} = \frac{60}{34} = 1,76$$

Dari grafik variasi I terhadap m dan n didapat i adalah 0,066, sehingga nilai faktor pengaruh

$$I = i \times 4 = 0,066 \times 4 = 0,264$$

Tambahan tegangan akibat adanya bangunan (ΔP) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{A}{A_3} \times q \times I \frac{1800}{4900} = x \, 2,18 \text{ ton/m}^2 \times 0,264 \\ &= 0,698 \text{ t/m}^2 \times 0,264 = 0,211 \text{ t/m}^2 = 211 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Tegangan efektif semula (P_o) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} P_o &= (Z_1 \times \gamma_1) + (2x\gamma_2) + (2x\gamma_3) \\ &= (28 \times 1,863) + (4 \times 1,863) + (2 \times 1,873) \\ &= 63,362 \text{ t/m}^2 = 63362 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Penurunan tanah pada lapisan 3 (Sc_3) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} Sc_3 &= \frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) = \frac{0,229}{1+0,620} 4 \log \left(\frac{63362+211}{63362} \right) \\ &= 0,00071 \text{ m} = 0,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penurunan pada Lapisan 4

Penurunan tanah pada lapisan 4 akan mencapai tekanan seimbang ke bawah ($\tan 45^\circ$) pada kedalaman Z_4 adalah -38.00 m

Panjang tekanan seimbang

$$(L_4) = L + (2 \times 14 \tan 45^\circ) = 120 + 28 = 148 \text{ m}$$

Lebar tekanan seimbang

$$(B_4) = B + (2 \times 14 \tan 45^\circ) = 15 + 28 = 43 \text{ m}$$

Luas tekanan seimbang

$$(A_4) = B_4 \times L_4 = 6364 \text{ m}^2$$

Nilai faktor pengaruh I digambarkan dalam bentuk grafik (Gambar II.4), didapat dari perhitungan nilai m dan nilai n seperti di bawah ini.

$$m = \frac{B}{Z_4} = \frac{7,5}{38} = 0,197$$

$$n = \frac{L}{Z_4} = \frac{60}{38} = 1,58$$

Dari grafik variasi I terhadap m dan n didapat i adalah 0,058 sehingga nilai faktor pengaruh

$$I = i \times 4 = 0,058 \times 4 = 0,232$$

Tambahan tegangan akibat adanya bangunan (ΔP) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$\Delta P = \frac{A}{A_4} \times q \times I \frac{1800}{6364} = 2,18 \text{ ton/m}^2 \times 0,232 = 0,616 \text{ t/m}^2 \times 0,232 = 0,143 \text{ t/m}^2 = 143 \text{ kg/m}^2$$

Tegangan efektif semula (P_o) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$P_o = (Z_1 \times \gamma_1) + (4 \times \gamma_2) + (4 \times \gamma_3) + (2 \times \gamma_4) = (28 \times 1,863) + (4 \times 1,863) + (4 \times 1,873) + (2 \times 1,882) = 70,872 \text{ t/m}^2 = 70872 \text{ kg/m}^2$$

Penurunan tanah pada lapisan 4 (Sc_4) dihitung seperti rumus di bawah ini.

$$Sc_4 = \frac{Cc}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) = \frac{0,219}{1+0,521} 4 \log \left(\frac{70872 + 143}{70872} \right) = 0,00042 \text{ m} = 0,42 \text{ mm}$$

$$S_{c \text{ total}} = Sc_1 + Sc_2 + Sc_3 + Sc_4 = 21 \text{ mm} + 1,4 \text{ mm} + 0,71 \text{ mm} + 0,42 \text{ mm} = 23,5 \text{ mm} = 2,35 \text{ cm}$$

Besarnya penurunan setiap lapisan sedimen seperti pada gambar IV.13, diketahui bahwa penurunan total lapisan sedimen ($S_c \text{ Total}$) di daerah penelitian berdasarkan model dermaga tersebut di atas adalah 2,35 cm. Penurunan tersebut masih memenuhi kriteria daya dukung yang diijinkan yaitu < 1 inchi atau 2,54 cm (Meyerhof, 1956 dalam Hardiyatmo, 1992).

Hasil perhitungan penurunan setiap lapisan sedimen dan total keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Perhitungan Lamanya Penurunan

Lamanya penurunan untuk terjadinya konsolisadi 10%

Dari hasil uji konsolidasi di laboratorium diketahui *coeficient of consolidation* (C_v) adalah

Tabel 5. Hasil perhitungan penurunan total dari lapisan 1, 2, 3 dan 4

No. Lapisan	Z (m)	B (m)	L (m)	B/Z	L/Z	I (4 x i)	ΔP (kg/m ²)	P_o (kg/m ²)	C_c	e_o	$S_{c \text{ total}}$ (mm)
1	26	7,5	60	0,29	2,31	0,360	600	48440	0,270	0,826	21
2	30	7,5	60	0,25	2,00	0,300	330	55890	0,270	0,826	1,4
3	34	7,5	60	0,22	1,76	0,264	211	63362	0,229	0,620	0,71
4	38	7,5	60	0,197	1,58	0,232	143	70872	0,219	0,521	0,42
Penurunan Total											23,5

$2,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{detik}$, waktu yang diperlukan untuk terjadinya penurunan pada derajat konsolidasi 10 % (T_{10}) adalah 0,008 dan jalan air terpanjang separuh tebal lapisan (H_{dr}) adalah 16 m atau 1600 cm.

Perhitungan lamanya waktu penurunan untuk terjadinya konsolidasi 10 % menggunakan persamaan dibawah ini.

$$T_{10} = \frac{C_v \cdot t_{10}}{Hdr^2}$$

$$t_{10} = \frac{T_{10} Hdr^2}{C_v}$$

$$t_{10} = \frac{0,008 (1600^2)}{2,5 \times 10^{-3}} = 8192000 \text{ detik}$$

$$= 94,81 \text{ hari}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk tercapainya konsolidasi 10% adalah 94,81 hari.

Lamanya penurunan untuk terjadinya konsolidasi 20%

Dari hasil uji konsolidasi di laboratorium diketahui *coeficient of consolidation* (C_v) adalah $2,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{detik}$, waktu yang diperlukan untuk terjadinya penurunan pada derajat konsolidasi 20 % (T_{20}) adalah 0,031 dan jalan air terpanjang separuh tebal lapisan (H_{dr}) adalah 16 m atau 1600 cm.

Perhitungan lamanya waktu penurunan untuk terjadinya konsolidasi 20 % menggunakan persamaan dibawah ini.

$$T_{20} = \frac{C_v \cdot t_{20}}{Hdr^2}$$

$$t_{20} = \frac{T_{20} Hdr^2}{C_v}$$

$$t_{20} = \frac{0,031 (1600^2)}{2,5 \times 10^{-3}} = 31744000 \text{ detik}$$

$$= 367,41 \text{ hari}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk tercapainya konsolidasi 20% adalah 367,41 hari.

Lamanya penurunan untuk terjadinya konsolidasi 50%

Dari hasil uji konsolidasi di laboratorium diketahui *coeficient of consolidation* (C_v) adalah $2,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{detik}$, waktu yang diperlukan untuk terjadinya penurunan pada derajat konsolidasi 50 % (T_{50}) adalah 0,197 dan jalan air terpanjang separuh tebal lapisan (H_{dr}) adalah 16 m atau 1600 cm.

Perhitungan lamanya waktu penurunan untuk terjadinya konsolidasi 50 % menggunakan persamaan dibawah ini.

$$T_{50} = \frac{C_v \cdot t_{50}}{Hdr^2}$$

$$t_{50} = \frac{T_{50} Hdr^2}{C_v}$$

$$t_{50} = \frac{0,197 (1600^2)}{2,5 \times 10^{-3}} = 201728000 \text{ detik}$$

$$= 2334,81 \text{ hari} = 6,39 \text{ tahun}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk tercapainya konsolidasi 50% adalah 2334,81 hari = 6,39 tahun.

Lamanya penurunan untuk terjadinya konsolidasi 90%

Dari hasil uji konsolidasi di laboratorium diketahui *coeficient of consolidation* (C_v) adalah $2,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{detik}$, waktu yang diperlukan untuk terjadinya penurunan pada derajat konsolidasi 90 % (T_{90}) adalah 0,848 dan jalan air terpanjang separuh tebal lapisan (H_{dr}) adalah 16 m atau 1600 cm.

Perhitungan lamanya waktu penurunan untuk terjadinya konsolidasi 90 % menggunakan persamaan dibawah ini.

$$T_{90} = \frac{C_v \cdot t_{90}}{Hdr^2}$$

$$t_{90} = \frac{T_{90} Hdr^2}{C_v}$$

$$t_{90} = \frac{0,848 (1600^2)}{2,5 \times 10^{-3}} = 868352000 \text{ detik}$$

$$= 100503,7 \text{ hari} = 27,54 \text{ tahun}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk tercapainya konsolidasi 90% adalah 100503,7 hari = 27,54 tahun.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian berdasarkan data lapangan, hasil uji laboratorium dan perhitungan potensi penurunan sedimen Kuarter maka disimpulkan bahwa :

- Sifat atau tipe pasang surut di daerah penelitian adalah campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*), artinya dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Datum yang digunakan pada daerah penelitian adalah hitungan muka surutan (*low water sea*).
- Kedalaman dasar laut yang telah dikoreksi terhadap datum pasang surut didapatkan gambaran bahwa antara kedalaman 0,5 m - 10,0 m. Pola kontur di bagian utara daerah penelitian memperlihatkan pola yang menerus secara berangsur dan renggang. Pola ini menandakan morfologi landai, mencapai lebih kurang 4 mil ke laut lepas. Mendekati lokasi pemboran pola kontur agak rapat dan membelok pada bagian tanjung, sesuai dengan karakteristik pantainya berupa teluk dan tanjung.
- Hasil kesebandingan data pemboran dengan geologi regional daerah penelitian berdasarkan ciri litologi memberikan gambaran kondisi geologi bawah permukaan. Ditafsirkan bahwa lapisan sedimen bagian atas antara kedalaman 0 - 24,45 m, memiliki kepadatan relatif agak kaku merupakan endapan pantai diduga berumur Resen. Lapisan bagian bawah antara kedalaman 24,0-41,0 m, memiliki kepadatan relatif sangat kaku hingga keras, ditafsirkan merupakan bagian dari Formasi Gintung berumur Plistosen Tengah-Akhir.
- Potensi penurunan tanah atau sedimen (S_p) di daerah penelitian dari uji lapangan dengan SPT adalah 0,992 cm atau 0,390 inci (<1 inci, nilai daya dukung yang diijinkan).

Dimensi dermaga yang direncanakan telah dihitung bahwa beban total yang terjadi pada dermaga (q) adalah 2,18 ton/m². Penurunan total lapisan tanah di bawah dasar pondasi berdasarkan input data hasil uji laboratorium adalah 2,35 cm yang kurang dari 2,54 cm (1 inci). Perhitungan potensi penurunan tanah berdasarkan data SPT lebih kecil dari data hasil uji laboratorium yang digunakan. Hal ini menunjukkan hasil perhitungan menggunakan data uji langsung lebih baik dari data input hasil uji laboratorium.

- Lamanya penurunan untuk terjadinya konsolidasi 10% adalah 94,81 hari, konsolidasi 20% adalah 367,41 hari, konsolidasi 50% adalah 2334,81 hari = 6,39 tahun dan konsolidasi 90% adalah 100503,7 hari = 27,54 tahun.

ACUAN

- Bowles, E.J., 1988. *Foundation Analysis And Desing*, McGraw- Hill, Inc. Book Company, International Student Edition, Auckland-London-Tokyo.
- Doodson, A.T. dan Warburg, H.D., 1936. *Admiralty Tide Tables Part III*, Hydrographic Department, Admiralty, London.
- Hardiyatmo, H.C., 1992. *Mekanika Tanah 1&2*, PT. Gramedia Utama, Jakarta.
- Prakash, S. dan Sharma, H.D., 1990. *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Raharjo, P., Budiono, K. dan Faturachman, A., 2005. *Laporan Penyelidikan Potensi Sumberdaya Mineral dan Daya Dukung Kawasan Pesisir Kabupaten Cirebon, Propinsi Jawa Barat*, Laporan Interen PPPGL, Bandung.
- Silitonga, P.H., Masria, M. dan Suwarna, N., 1996. *Peta Geologi Lembar Cirebon skala 1 : 100.000*, PPPG Bandung,
- Wesley, L.D., 1977. *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, 1977.