

ANALISIS GEOTEKNIK KELAUTAN PADA SISI KETAPANG (SELAT BALI) UNTUK PENGEMBANGAN PENGHUBUNG JAWA - BALI

***E. Usman, F. Novico, K. Budiono,
P. Raharjo, D. Setiady, A. Yuningsih dan N. Yayu***
Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Jl. Dr. Junjuran 236 Bandung 40174

Sari

Daerah penelitian terletak di Perairan Ketapang, Selat Bali, ke arah timur dari pantai Banyuwangi. Di daerah ini akan dikembangkan jembatan penghubung Jawa dan Bali. Hasil penelitian geologi dan geofisika kelautan menunjukkan kondisi geologi dan geofisika yang kompleks.

Berdasarkan hasil pemboran inti dan nilai SPT memperlihatkan adanya sedimen tidak terkonsolidasi mencapai tebal 20 meter dari permukaan dasar laut yang tersusun dari fragmen terumbu koral dan cangkang foram. Analisis ini tanpa menggunakan metoda properti keteknikan karena sedimen tak terkonsolidasi di dominasi oleh fragmen dan cangkang foram hampir 80%.

Analisis nilai SPT menunjukkan kapasitas tiang pancang untuk diameter 50 cm mempunyai rata-rata 93.752 ton beban tekan dan 21.532 ton beban tarik. Untuk meningkatkan beban tersebut harus meningkatkan diameter tiang pancang lebih dari 50 cm dan kedalaman tiang pancang lebih dari 20 meter dari permukaan dasar laut.

Abstract

The area investigated is the Ketapang Waters of Bali Strait, eastward of the Banyuwangi Coast. This area will be developed a bredge between Java and Bali. Result of geological dan marine geophysical method shows the geologic and oseanographic condition very complex.

Based on coring data and Standard Penetration Test (SPT) value shows the unconsolidated sediments to reach 20 meters from seabed consist of coral fragments and foram shells. This analysis without engineering properties method because unconsolidated sediment is dominated by fragment and shell almost 80%.

Analisis of Standard Penetration Test (SPT) value shows the bearingpile capacity of 50 cm of bearingpile diameters has avarage 93.752 ton of download and 21.532 ton of upload. For more then that value has to increasing the diameters more then 50 cm and ent bearingpile more then 20 meters thicknees in depth from seabed.

PENDAHULUAN

Lokasi penelitian merupakan jalur penyeberangan Ketapang (Banyuwangi) di wilayah P. Jawa dan Gilimanuk di wilayah P. Bali. Selat Bali merupakan perairan yang menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Bali. Transportasi tersebut dilaksanakan dengan menggunakan sarana kapal penyeberangan berupa kapal Ferry. Kegiatan penyeberangan, pengangkutan penumpang dan bongkar muat barang dilakukan

menggunakan fasilitas pelabuhan Ketapang di Banyuwangi dan Gilimanuk di Bali.

Meningkatnya volume kegiatan penyeberangan dari P. Jawa ke P. Bali dan sebaliknya, sejalan dengan peningkatan industri pariwisata di Bali dan Banyuwangi menimbulkan arus penyeberangan dan antaraan kendaraan yang cukup panjang sehingga mengakibatkan waktu yang diperlukan untuk menyeberang menjadi lebih lama. Arus Selat Bali yang terkenal cukup kuat serta adanya cuaca buruk

lainnya sering menimbulkan gangguan dalam perjalanan kapal Ferry.

Untuk mengantisipasi meningkatnya volume kegiatan penyeberangan dan mengingat kondisi alam yang sering mengganggu kelancaran penyeberangan tersebut, serta untuk menambah kenyamanan penyeberangan, pemerintah telah mengupayakan pengembangan perhubungan antar pulau tersebut secara langsung. Oleh sebab itu perlu dipersiapkan dan dikaji kondisi geologi bawah permukaan laut di jalur rencana penghubung Jawa - Bali.

KONDISI GEOLOGI

Batuan tertua yang tersingkap di daerah sisi Ketapang - Banyuwangi ini adalah Formasi Batuampar, yang terdiri dari tuf, breksi gunungapi, batugamping dan lava, berumur Oligosen - Miosen Tengah. Formasi Punung menjemari dengan bagian atas Formasi Batuampar. Formasi Punung tersusun oleh batugamping terumbu, batugamping tufan atau napalan, berumur akhir Miosen Awal - Miosen Tengah (**Gambar 1**).

Pada Kala Plistosen terjadi kegiatan Gunungapi Ijen Tua yang terdiri dari breksi gunungapi, breksi batuapung dan tuf, sedangkan endapan laharnya membentuk Formasi Kalibaru yang tersusun oleh breksi lahar, konglomerat, batupasir dan tuf, yang berumur Plistosen Tengah. Kemudian diikuti kegiatan Gunungapi Komplek Raung, Suket dan Pendil, yang tersusun oleh tuf, breksi gunungapi dan lava. Selanjutnya terjadi kegiatan Gunungapi Rante dan Gunungapi Merapi, yang menghasilkan perselingan breksi gunungapi dan tuf dengan sisipan lahar dan lava, dan diakhiri dengan kegiatan Gunungapi Ijen Muda yang menghasilkan tuf, breksi, lava dan belerang.

Batugamping terumbu yang terdiri dari batugamping terumbu, tuf dan aglomerat, menjemari dengan batuan hasil Gunungapi Merapi. Satuan termuda adalah Endapan Aluvium yang berupa kerakal, kerikil, pasir, lanau dan lempung. Batuan intrusi yang terdapat di daerah ini adalah Granodiorit dan Andesit.

METODA PENELITIAN DAN ANALISIS

Pemeruman

Pengukuran kedalaman laut (pemeruman) pada penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan kedalaman laut dan morfologi dasar laut. Data ini perlu dilakukan terutama untuk memperoleh gambaran kedalaman dasar laut dan hubungannya dengan konstruksi di sekitar lokasi rencana penghubung Jawa - Bali. Pengukuran dilakukan secara analog, data yang diperoleh direkam secara grafis pada kertas rekaman *Odom Hydrotrac*.

Seismik Pantul Dangkal

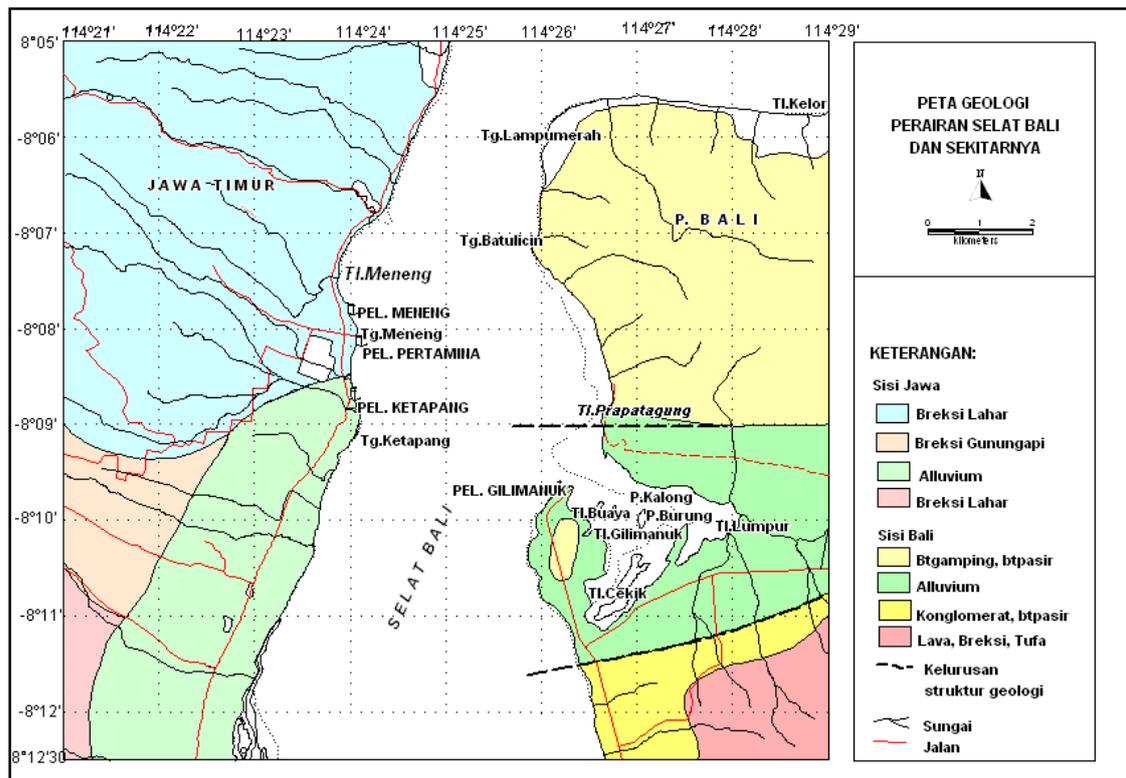
Metoda "Shallow Reflection Seismic" dilakukan untuk mendapatkan penampang seismik mulai permukaan hingga bawah dasar laut. Metoda seismik bekerja dengan prinsip pengiriman gelombang akustik yang ditimbulkan oleh "sparker" ke bawah permukaan laut, lalu diterima oleh "hydrophone" melalui signal yang dipantulkan setelah melalui media lapisan bawah dasar laut. Signal yang diterima direkam sebagai penampang horison-horison seismik pada kertas rekaman.

Berdasarkan hasil rekaman seismik dapat dilakukan interpretasi kondisi geologi bawah dasar laut (batas sekuen dan struktur batuan) dengan menggunakan prinsip-prinsip Seismik Stratigrafi, yaitu pengenalan terhadap ciri-ciri reflektor batas atas, batas bawah dan bagian dalam (internal reflector) setiap unit seismik (Sangree & Wiedmier, 1979 dan Sherif, 1980).

Geologi Teknik Kelautan

Aspek Umum

Kegiatan ini dimaksudkan untuk mendapatkan data dan informasi keteknikan dan daya dukung tanah di lapangan melalui kegiatan pemboran inti untuk mengetahui struktur tanah secara vertikal. Peralatan yang dipergunakan adalah mesin bor merek RK-210 S dilengkapi dengan mesin penggerak hidrolik dan alat penunjang lainnya (pontoon).



Gambar 1 . Peta geologi daerah sekitar Selat Bali.

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Proses pembentukan tanah dari batuan induknya dapat terjadi dari hasil pelapukan batuan secara fisik maupun kimia atau proses geologi lainnya, kemudian mengalami transportasi (*transported soil*). Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan, sebagai contoh: lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

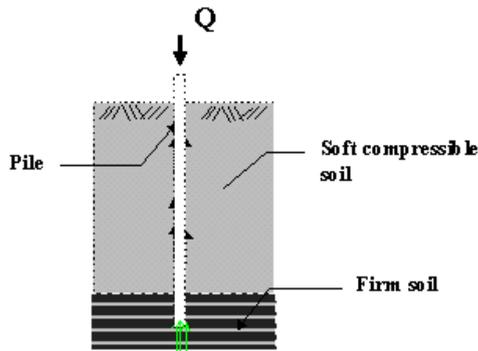
Tiang Fondasi

Fungsi dari tiang fondasi adalah untuk mendukung seluruh bangunan diatasnya dan mentransfer beban dari bangunan ke tanah atau batuan. Berbagai tipe tiang yang digunakan dalam konstruksi pondasi sangat tergantung pada beban yang bekerja pada fondasi tersebut selain tersedianya bahan yang ada, juga cara-cara pelaksanaan pemancangan-

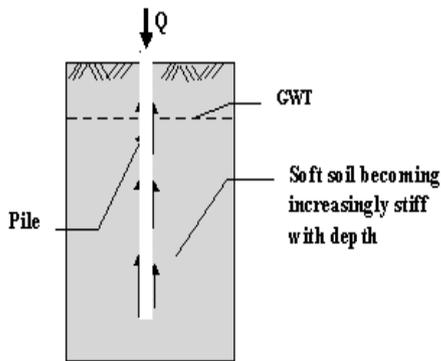
nya. Klasifikasi tiang fondasi berdasarkan tiang meneruskan beban dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Tiang tahanan ujung (*End Bearing Pile*).
Bila ujung tiang mencapai tanah keras dengan kuat dukung tinggi, maka beban yang diterima akan diteruskan ke tanah dasar fondasi melalui ujung tiang (**Gambar 2**).
2. Tiang tahanan lekatan antara tiang dengan tanah (*Friction piles*).
Bila tiang dipancangkan pada tanah dengan nilai kuat gesek tinggi (jenis tanah pasir), maka beban yang diterima oleh tiang akan ditahan berdasarkan gesekan antara tiang dan tanah sekeliling tiang (**Gambar 3**).

Pada umumnya di lapangan dijumpai tipe tiang yang merupakan kombinasi dari kedua hal tersebut. Keadaan ini disebabkan campuran/kombinasi tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus dan kadang-kadang merupakan tanah yang kompak, sehingga cara tiang meneruskan beban ke tanah dasar pondasi, merupakan kombinasinya.



Gambar 2. Model Tiang Tahanan Ujung (*End Bearing Pile*).



Gambar 3. Model Tiang Tahanan Letakan Antara Tiang dengan Tanah (*Friction piles*).

Daya Dukung Fondasi

Fondasi mempunyai kekuatan dalam menahan beban yang disebut daya dukung fondasi. Daya dukung fondasi mempunyai fungsi untuk menahan gaya vertikal, gaya lateral dan *uplift load*. Daya dukung fondasi ini tergantung dari material fondasi yang dipergunakan, jenis fondasi yang dipakai dan daya dukung dari tanah itu sendiri. Metode yang digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi:

1. Daya dukung fondasi berdasarkan hasil test lapangan (Data SPT)

Metode ini menggunakan jenis alat yang sederhana, berupa tabung standar dengan diameter 5 cm dan panjang 56 cm. Pelaksanaan dilakukan di dasar lubang bor, bila tanah mudah runtuh digunakan silinder penahan (*casing*) dengan diameter

>5 cm. Setelah mencapai kedalaman yang diinginkan tabung standar dibenamkan ± 15 cm, dengan maksud agar ujung tabung standar mengenai tanah asli.

Selanjutnya tabung standar dipancang sedalam 30 cm dengan palu yang mempunyai massa 64 kg, tinggi jatuh 76,2 cm atau setara dengan energi sebesar 0,5 kJ (0,5KNm), dihitung jumlah pukulan untuk memancang tabung standar sedalam 30 cm (N pukulan) dan dari hasil tersebut dibuat grafik hubungan kedalaman tanah dan jumlah pukulan (N) serta profil bor, seperti terdapat dalam lampiran.

Selanjutnya dari hasil N-SPT dapat dilakukan perhitungan kapasitas dukung tiang dengan metoda Mayerhof sebagai berikut :

$$Q_u(-) = 40 N_b \cdot A_p + 0.2 N A_s$$

$$Q_u(+) = 0.2 N A_s$$

Dimana:

$Q_u(-)$ adalah daya dukung tiang terhadap tekan (ton), $Q_u(+)$ adalah daya dukung tiang terhadap tarik (ton), N_b adalah harga rata-rata N-SPT pada 4d di bawah tiang dan 8d di atas tiang, A_p adalah luas dasar penampang tiang (m^2), A_s adalah luas selimut tiang (m^2), N adalah Harga rata-rata N-SPT sepanjang kedalaman tiang dan SF adalah faktor keamanan (digunakan 2,5).

Daya dukung ijin tiang adalah:

$$Q_{all} = Q_u / SF$$

2. Daya dukung fondasi berdasarkan hasil test Laboratorium

Perhitungan Tahanan Ujung:

$$Q_b = A_b \times p_b' \times N_q$$

Dimana :

Q_b adalah tahanan Ujung Ultimit (ton), A_b adalah luas penampang ujung tiang (m^2), N_q adalah faktor kapasitas dukung tergantung pada sudut geser dalam tanah (ϕ) yang didapatkan dari hasil uji triaxial dan p_b' Tekanan vertikal efektif dasar tiang. Bila panjang tiang lebih besar dari kedalaman kritis z_c , maka p_b' diambil sama dengan tekanan vertikal efektif pada kedalaman z_c .

Perhitungan Tahanan Gesek Ultimit:

$$Q_s = F_w \times A_s \times K_d \times p_o' \times \text{tg} \delta$$

Tahanan gesek dinding tiang persatuan luas (f_s), dinyatakan oleh persamaan:

$$F_s = K_d \times p_o' \times \text{tg} \delta$$

Dimana:

K_d adalah Koefisien tekanan tanah yang tergantung dari kondisi tanah, P_o' adalah tekanan vertikal efektif rata-rata di sepanjang tiang, yang besarnya sama dengan tekanan overburden efektif untuk $z \leq z_c$, dan sama dengan besarnya tekanan vertical kritis untuk $z > z_c$ (ton/m^2), $\delta = \phi_d'$ adalah sudut gesek dinding efektif antara dinding tiang dan tanah, A_s adalah luas selimut tiang (m^2), Z adalah kedalaman titik yang ditinjau dari permukaan tanah (m), z_c adalah kedalaman kritis, yaitu kedalaman di mana tekanan overburden efektif dihitung dari titik ini dianggap konstan.

Berat tiang: $W_p = L \times \gamma_{\text{btm}} \times A_s$

Dengan: L = panjang tiang (m); γ_{btm} = berat isi beton 2.4 (ton/m^3)

Kapasitas Ultimit Tiang :

$$Q_{\text{all}}(-) = (1/FK) \times (A_b \times p_b' \times N_q) + (F_w \times A_s \times K_d \times p_o' \times \text{tg} \delta) - W_p$$

$$Q_{\text{all}}(+) = (1/FK) \times (F_w \times A_s \times K_d \times p_o' \times \text{tg} \delta)$$

Hubungan N-SPT, sifat tanah dan Kuat Geser Tekan Bebas

Sifat fisik sedimen akan memberikan nilai-nilai tertentu terhadap N-SPT dan kuat geser tekan bebas (Q_u) - (Tabel 1). Hubungan tersebut akan dapat pula memberikan gambaran tentang daya dukung dan jenis tiang fondasi yang akan dipergunakan dalam suatu konstruksi.

NO	N-SPT	SIFAT TANAH	Q_u (Kg/Cm^2)
1	< 2	Sangat lunak	< 0,25
2	2 - 4	Lunak	0,25 - 0,50
3	4 - 8	Sedang	0,50 - 1
4	8 - 15	Kaku	1 - 2
5	15 - 30	Sangat kaku	2 - 4
6	> 30	Keras	> 4

Tabel 1. Hubungan sifat fisik tanah, N-SPT dan kuat geser tekan bebas (Q_u) (Hardiyatmo, 2002).

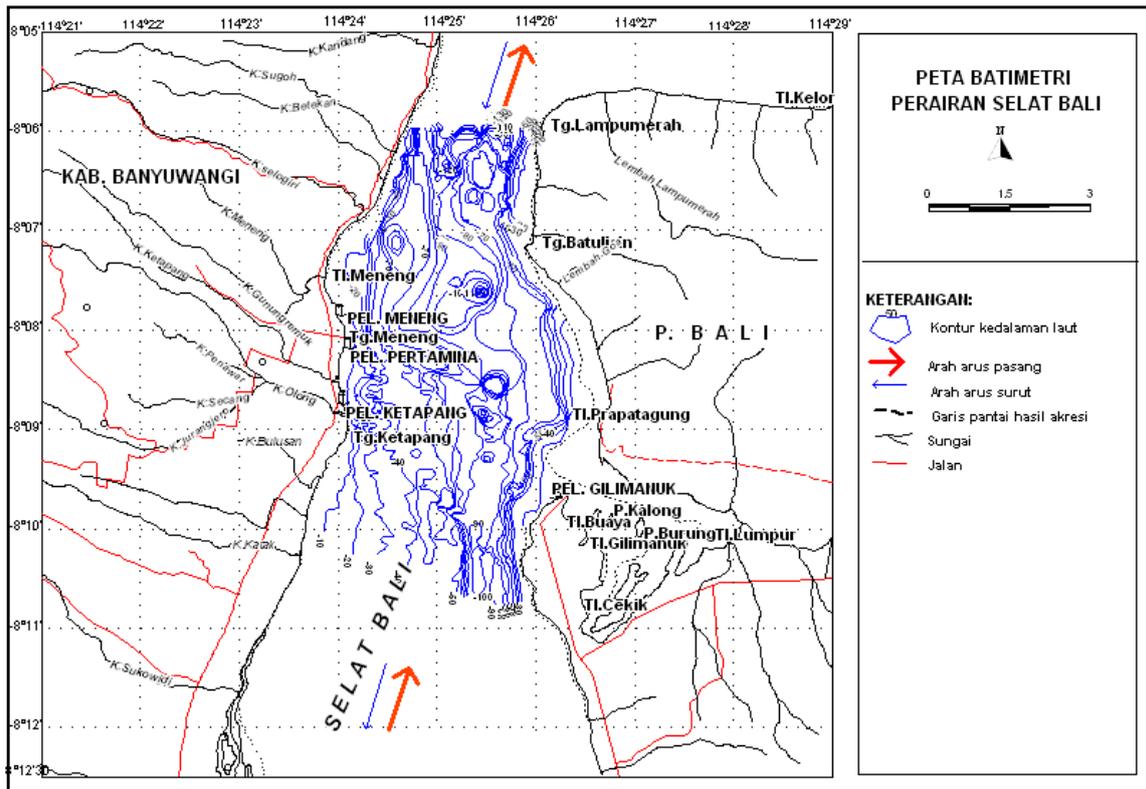
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data Kedalaman

Hasil kegiatan pemeruman sepanjang lintasan, didapat data kedalaman laut bervariasi berkisar antara 10-160 meter. Setelah dikoreksi dengan fluktuasi pasang surut terhadap muka laut rata-rata (*mean sea level*), kemudian diplot pada peta skala dasar dengan interval kontur 10 meter (Gambar 4).

Berdasarkan peta batimetri yang dihasilkan maka perubahan kedalaman peta batimetri dapat dibedakan menjadi 3 unit satuan morfologi yaitu:

1. Bagian Utara daerah penelitian mencakup area 30% dari seluruh luas daerah penelitian. Daerah ini mempunyai perubahan kedalaman yang bergradasi mulai dari 11 meter pada sisi barat dan timur berupa alur yang memanjang berangsur bertambah dalam ke arah tengah sampai ke utara mencapai kedalaman 140 meter. Di bagian tengah membentuk kontur tertutup berupa cekungan-cekungan dengan kedalaman 50 sampai 90 meter dengan morfologi bergelombang curam sampai curam.
2. Bagian tengah daerah penelitian mencakup area 35% dari seluruh luas daerah penelitian. Daerah ini mempunyai perubahan kedalaman 20 - 160 meter berupa alur memanjang di sisi barat, tengah dan timur, berangsur bertambah dalam ke arah tengah. Di bagian baratdaya membentuk kontur tertutup berupa cekungan dengan kedalaman sampai 110 meter, bagian tengah membentuk cekungan dengan kedalaman 160 meter, sedangkan di bagian tenggara membentuk cekungan sampai kedalaman 130 meter. Di daerah ini juga terlihat adanya pembelokan kontur yang tajam yang menunjukkan adanya indikasi struktur geologi berupa patahan/sesar berarah baratlaut - tenggara.
3. Bagian selatan daerah penelitian mencakup area 35% dari seluruh luas daerah penelitian mempunyai perubahan kedalaman 10 - 110 meter. Di daerah ini morfologi relatif datar ke sebelah barat dengan morfologi bergelombang, sedangkan di bagian timur morfologi curam ditunjukkan dengan kontur yang rapat.



Gambar 4 . Peta batimetri perairan Selat Bali.

Berdasarkan data kedalaman tersebut, data penting yang menarik adalah adanya dua lembah sebagai alur bawah laut yang dipisahkan oleh bentuk punggung berarah utara selatan. Punggung ini dapat berfungsi sebagai tempat peletakan tiang fondasi di laut. Namun untuk mengetahui kekuatan, perlu korelasi dengan data seismik dan pemboran SPT.

Rekaman Seismik

Berdasarkan ciri-ciri reflektor seismik, batuan yang terdapat di daerah penelitian dicirikan oleh bentuk selaras, laminasi kadang-kadang membentuk miring dan bentuk longoran (*slump*). Secara garis besar batuan di daerah penelitian berdasarkan rekaman seismik terdiri dari batuan sedimen dan batuan akustik (*acoustic basement*) - (Gambar 5).

Batuan Sedimen

Batuan sedimen pada umumnya tidak menerus, dipisahkan oleh tonjolan terumbu karang dan punggung batuan dasar. Terumbu karang dicirikan oleh bentuk reflektor berupa bukit-bukit kecil (*mounded*)

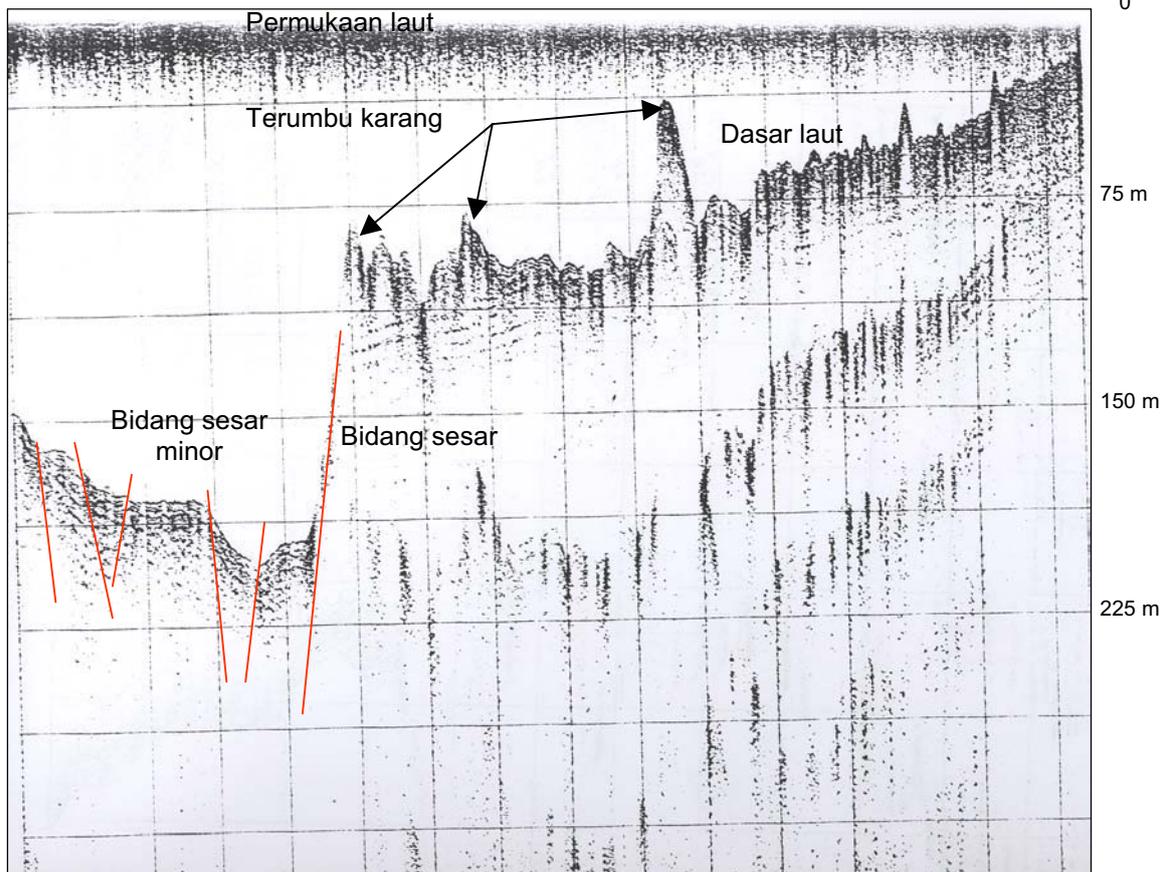
terdapat hampir di seluruh daerah perairan Selat Bali. Sebagian batuan sedimen ini juga membentuk lipatan yang diakibatkan oleh suatu proses tektonik, umumnya pada kedalaman antara 100 - 150 meter. Di sisi Ketapang-sekitar Banyuwangi bantuan sedimen membentuk lereng pada bagian atas muncul terumbu karang. Bentuk lainnya adalah proses progradasi sedimen di sekitar lereng yang ditandai oleh bentuk reflektor huruf s (*sigmoid*) dan bentuk miring (*oblique*). Bidang sesar dengan kemiringan yang cukup besar dijumpai pada perairan bagian timur yang memotong batuan sedimen. Adanya bentuk lipatan tersebut, perlu untuk pertimbangan kekuatan konstruksi tiang pondasi.

Batuan akustik (*Acoustic Basement*)

Batuan akustik di daerah penelitian tidak dapat diamati dengan jelas karena umumnya ditandai oleh karakter reflektor yang lemah. Hal ini disebabkan oleh energi gelombang seismik tidak menerus dengan baik karena beberapa faktor, antara lain: kedalaman laut diatas 75 meter dan batuan bagian permukaan yang bersifat porous (campuran lumpur, fragmen cangkang dan terumbu).

Timur

Barat



Gambar 5 . Profil seismik barat - timur memotong Selat Bali.

Namun secara umum, hasil rekaman seismik memperlihatkan bahwa batuan dasar cukup jauh dari permukaan dasar laut. Untuk itu diperlukan tiang pancang yang cukup dalam pula, sehingga tapak konstruksi akan kuat menerima beban dari bagian atas.

Deformasi Batuan

Batuan sedimen di perairan Selat Bali telah mengalami "folding" yang ditandai oleh berubahnya kedudukan lapisan yang mulai menampilkan gejala "undulasi" diakibatkan oleh pengaruh sistem tektonik di P. Jawa dan P. Bali. Di bagian tengah terdapat celah dengan kedalaman mencapai 94 meter, bentuk memanjang memisahkan dua bidang "sesar" turun. Dari kenampakan seismik memperlihatkan, celah tersebut telah terisi oleh sedimen kuarter yang kemudian tergerus oleh arus bawah dasar laut, sehingga membentuk celah-celah yang lebih kecil. Pada dinding bagian timur terdapat sedimen hasil "slumping" yang kemudian di bagian atas terdapat pula tonjolan-tonjolan terumbu

karang. Demikian pula data kelurusan menunjukkan adanya blok sedimen yang turun di bagian tengah selat, membentuk semacam lembah dengan tebing di kedua sisi barat dan timur.

Pemboran N-SPT dan Kapasitas Tiang Pancang

Sedimen hasil pemboran langsung dideskripsi di lapangan secara megaskopis dan dilakukan uji N-SPT untuk mengetahui relatif kepadatan material/sedimen berdasarkan data N-SPT setiap 3 meter kedalaman lapisan batuan. Selanjutnya hubungan harga N dengan "relative density" berdasarkan Terzaghi & Peck (1948) masing-masing titik uji di daerah penelitian dapat diketahui.

Pada daerah penelitian (kedalaman hingga 20 meter dari dasar laut) bersifat pasir yang bersifat "non kohesif", sehingga contoh tanah tak terganggu (*undisturbed*) tidak didapatkan, maka tidak dapat dilakukan penelitian

laboratorium (*engineering properties*). Maka perhitungan kekuatan daya dukung tiang fondasi pancang untuk kedalaman 20 meter dari dasar laut berdasarkan data lapangan (N-SPT).

Dengan mengetahui ciri litologi dan N-SPT ini maka dapat mencerminkan daya dukung tanah di lokasi pengujian, semakin besar nilai tumbukannya akan mempunyai daya dukung tanah yang lebih baik. Terzaghi dan Peck (1967) memberikan hubungan antara N-SPT dengan daya dukung yang diijinkan (q_a ton/m²) yang didasarkan pada penurunan 2.54 cm (1 inci). Selanjutnya hasil penelitian lapangan dari pengujian N-SPT ini dapat dipergunakan untuk memperkirakan penurunan yang akan terjadi apabila tanah diberi beban fondasi sesuai dengan lebar fondasinya berdasarkan persamaan Meyerhof, 1965 (dalam Terzaghi and Peck, 1967) dan Bowles (1977).

Hasil pemboran N-SPT dan sifat tanah di sisi Ketapang memperlihatkan N-SPT per 3 meter kedalaman yang bervariasi (Tabel 1).

NO	KEDALAMAN	N-SPT	SIFAT TANAH
1	3 Mtr	17	Sangat kaku
2	6 Mtr	8	Kaku
3	9 Mtr	6	Sedang
4	12 Mtr	13	Kaku
5	15 Mtr	14	Kaku
6	18 Mtr	19	Sangat kaku
7	20 Mtr	23	Sangat kaku

Tabel 2. Hasil N-SPT dan sifat tanah berdasarkan Hardiyatmo (2002) di sisi Ketapang.

Terumbu karang padat terdapat di daerah permukaan hingga kedalaman 1,5 meter. Diatas kedalaman 1,5 meter hingga 3 meter N-SPT 17 dan terus menurun karena munculnya lapisan yang porous. Endapan darat (satuan alluvial) terdapat pada kedalaman 1,5 - 3 meter berupa pasir halus. Endapan dekat pantai (satuan pasir kasar terdapat pada kedalaman 3.00 - 5.00 meter dan kedalaman 15.00 - 20.00 meter berupa pasir kasar (kerikil-kerakal), mengandung fragmen koral, berdasarkan nilai SPT 17/30 - 23/30 dapat dikatakan kepadatan relatifnya agak kompak (*medium dense*). Sedangkan endapan marine (satuan pasir lanauan) terdapat pada kedalaman 5.00 - 15.00 meter berupa pasir

lanauan, mengandung fragmen koral, berdasarkan nilai SPT 6/30 - 13/30 dapat dikatakan kepadatan relatifnya pasir lepas (*loose*) hingga agak kompak (*medium dense*) - (Lampiran 1).

Secara umum di bagian permukaan relatif keras makin melunak hingga kedalaman 9 meter lalu cenderung makin keras mulai kedalaman 12 meter hingga kedalaman di bawah 20 meter (**Gambar 6**).

Selanjutnya dari N-SPT, kapasitas dukung tiang dihitung dengan metoda **Mayerhof** sbb:

$$Q_u(-) = 40 N_b \cdot A_p + 0.2 N A_s$$

$$Q_u(+) = 0.2 N A_s$$

Daya dukung ijin tiang adalah $Q_{all} = Q_u/SF$, perhitungan Tahanan Ujung $Q_b = A_b \times p_b' \times N_q$, perhitungan Tahanan Gesek Ultimit adalah $Q_s = F_w \times A_s \times K_d \times p_o' \times tg \delta$, tahanan gesek dinding tiang persatuan luas (fs), dinyatakan oleh persamaan adalah $F_s = K_d \times p_o' \times tg \delta$ dan Berat tiang adalah $W_p = L \times \gamma_{btm} \times A_s$

Dari hasil perhitungan kapasitas dukung tiang tersebut selanjutnya dapat dihitung Kapasitas Ultimit Tiang dengan mengikuti persamaan berikut:

$$Q_{all}(-) = (1/FK) \times (A_b \times p_b' \times N_q) + (F_w \times A_s \times K_d \times p_o' \times tg \delta) - W_p$$

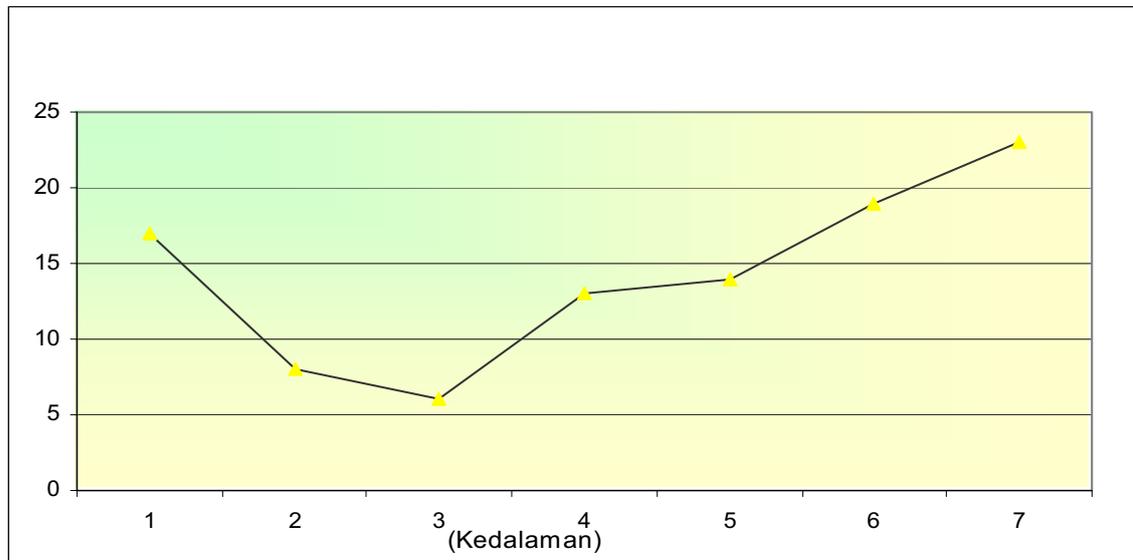
$$Q_{all}(+) = (1/FK) \times (F_w \times A_s \times K_d \times p_o' \times tg \delta)$$

diperoleh hasil sbb:

D (m)	L (m)	N _b	A _p (m ²)	N
0.5	20	23	0.1963	14.286

Q _f (ton)	Q _b (ton)	Q _{ult} (ton)	Q _{all} (-) (ton)	Q _{all} (+) (ton)
53.829	180.55	234.380	93.752	21.532

Pemboran yang dilakukan sedalam 20.0 meter dari dasar laut dengan nilai N pada kedalaman 20 sebesar 23 maka, didapatkan nilai daya dukung tiang pancang untuk diameter 50 cm sebesar 93.752 ton terhadap beban tekan, dan 21.532 ton untuk beban tarik, dengan variable faktor keamanan (SF) 2.5. Hasil perhitungan ini merupakan gambaran sekilas tentang keadaan lapisan tanah di sisi Ketapang (Banyuwangi).



Gambar 6. Grafik N-SPT memperlihatkan kecenderungan makin meningkat mulai kedalaman 12 hingga lebih dari 20 meter.

DISKUSI:

Alternatif dan Rekomendasi Pengembangan Penghubung Jawa - Bali

Aplikasi pemanfaatan informasi kondisi tanah (geologi) sangat diperlukan untuk perencanaan suatu konstruksi, dengan informasi yang ada, dapat ditentukan jenis dan dimensi konstruksi bangunan yang akan dibangun.

Untuk pengembangan penghubung Jawa - Bali terdapat beberapa alternatif, yaitu: jembatan, terowongan di dasar laut dan terowongan di bawah dasar laut. Ketiga alternatif tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun berdasarkan kondisi geologi serta aspek keselamatan pada sarana penyeberangan dan manusia, alternatif pembangunan jembatan merupakan alternatif yang paling mungkin. Pengembangan menggunakan konstruksi terowongan kurang mendukung, karena permukaan dasar laut kurang stabil (sedimen lepas), adanya tonjolan terumbu karang dan celah yang sempit akibat gerusan arus dan patahan minor akan mengakibatkan terowongan kurang stabil. Disamping itu kerusakan pada terowongan (retakan dan bocoran) sulit dipantau dan pertolongan terhadap bahaya sulit dilakukan.

Sedangkan untuk jembatan konstruksinya lebih sederhana dibandingkan dengan konstruksi terowongan, tiang pancang dapat ditancapkan pada morfologi punggungan dengan perhitungan

daya dukung fondasi disesuaikan dengan kedalaman N-SPT dan kapasitas tiang pancang. Demikian juga tekanan arus juga dapat diminimalkan oleh tiang pancang. Disamping itu kerusakan pada konstruksi jembatan akan mudah dipantau dan pertolongan terhadap bahaya juga lebih mudah dilakukan.

Hasil pemboran dapat diketahui bahwa lapisan tanah keras berada pada kedalaman lebih dari 20 meter dari permukaan dasar laut, maka dapat direkomendasikan jenis fondasi yang tepat adalah tiang pancang dalam.

KESIMPULAN

Kondisi morfologi yang bergelombang dan struktur batuan permukaan yang lunak di daerah sisi Ketapang memberikan indikasi bahwa konstruksi yang sesuai untuk penghubung Jawa - Bali adalah jembatan dengan pondasi dalam hingga kedalaman di bawah 20 meter dari dasar laut. Tiang fondasi di bagian tengah selat dapat ditancapkan di bagian punggungan hingga mencapai batuan akustik.

Hingga kedalaman 20 meter tersebut, untuk diameter 50 cm dapat menahan beban tekan 93.752 ton dan beban tarik 21.532 ton. Bila tiang fondasi makin dalam hingga N-SPT > 30 (pada batuan akustik ?) maka kemampuan beban tekan dan tarik akan lebih besar dan konstruksi akan lebih stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bpk. Kapuslitbang Geologi Kelautan (Ir. Subaktian Lubis, M.Sc) atas izinnnya untuk melakukan penelitian di Selat Bali dan Bpk. Ir. Dida Kusnida, M.Sc atas saran dan masukannya pada penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, JE., 1977, Foundation Analysis and Design, McGraw_Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japan.
- Hardiyatmo, CH., 2002, Mekanika Tanah I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Mayerhof, 1965, dalam Terzaghi and Peck, 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice, USA Publication.
- Sangree, JB. And JM. Wiedmier, 1979, Interpretation Facies from Seismic data, Geophysic 44, N.2, p.131.
- Terzaghi and Peck, 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice, USA Publication. ❖

Lampiran Diskripsi Log Bor												NO. BOR	: BH-1		
												LEMBAR	: 1		
												TOTAL KEDALAMAN:	20,45 M		
PROYEK						: PPGKT						TANGGAL MULAI		: 5-May-03	
LOKASI						: Perairan Ketapang						TANGGAL BERAKHIR		: 5-May-03	
MORFOLOGI						: Pantai						METODA PEMBORAN		: Vertikal	
TUJUAN						: Alternatif Penghubung Jawa-Bali						JURU BOR		: Agam, dkk	
TINGGI BAGAN						: 2.4 meter						DIPERIKSA OLEH		: Ediar Usman	
KOORDINAT						: 114° 24' 11,6316" BT -8° 6' 52,9632" LS						GEOLOGIAWAN		: Purnomo R, Franto N	
LOW WATER SEA (LWS)						: 0.5 meter						MESIN BOR		: RK 210 S	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Tanggal	Kedalaman (M)	Mean Sea Level	Pusat bor/10cm	No. Pemberan	% RECOVERY	SYMBOL	METHOD OF SAMPLING	DISKRIPSI LITOLOGI	CORE BARREL & BIT TYPE	CASING TYPE	STANDARD PENETRATION TEST	REMARK			
	0			1	100			Pasir halus, lepas, hitam, gradasi baik, mengandung pecahan kerang dan mineral besi, produk gunung api. (SW)				SPT = 20/30			
	1			2	25										
	2														
	3											SPT = 27/30			
	4			3	75			Pasir kerikil-keras, abu-abu kehitaman, mengandung fragmen batuan, pecahan kerang, mineral hitam, sedikit lanau, gradasi jelek (SP).							
	5			4	100										
	6														
	7			5	100			Pasir kasar, loose, oolkit kehitaman, mengandung fragmen batuan (kerikil), pecahan kerang, mafic dan felsic mineral, pemilahan sedang (SG).				SPT = 26/30			
	8			6	100										
	9			7	100										
	10			8	50			Pasir kasar, loose, putih, hasil pecahan koral, sedikit kuarsa, lanau, gradasi baik, felsik mineral (SW)				SPT = 30/30			
	11														
	12			9	100										
	13			10	100			Pasir lanauan, abu-abu fragmen koral, koral, gradasi jelek, sisipan pasir lanauan (SP)				SPT = 36/30			
	14			11	100										
	15											SPT = 10/30			

Lampiran Diskripsi Log Bor										NO. BOR : BH-1		LEMBAR : 2		TOTAL KEDALAMAN: 20,45 M	
PROYEK : PPGKT					TANGGAL MULAI : 5/ /2003										
LOKASI : Perairan Ketapang					TANGGAL BERAKHIR : 5/ /2003										
MORFOLOGI : Pantai					METODA PEMBORAN : Vertikal										
TUJUAN : Alternatif Penghubung Jawa - Bali					JURU BOR : Agam, dkk										
TINGGI BAGAN : 2,4 meter					DIPERIKSA OLEH : Ediar Usman										
KOORDINAT : 114° 24' 11,6316" BT -8° 8' 52,9632" LS					GEOLOGIAWAN : Purnomo R, Franto N										
LOW WATER SEA (LWS) : 0.5 meter					MESIN BOR : RK 210 S										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Tanggal	Kedalaman (M)	Mean Sea Level	Putaran bor/dorn	No. Pemboran	% RECOVERY	SYMBOL	METHOD OF SAMPLING	DISKRIPSI LITOLOGI	CORE BARREL & BIT TYPE	CASING TYPE	STANDARD PENETRATION TEST	REMARK			
	15				100			Pasir lanauan, abu-abu fragmen koral, koral, gradasi jelek, sisipan pasir lanauan (SP)							
	16				100										
	17				100										
	18											SPT = 18/30			
	19														
	20				100			Pasir kasar, abu-abu keputihan, fragmen koral, gradasi jelek, sisipan pasir lanauan (SP)				SPT = 25/30			
	21														
	22														