

KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK TANAH MENGANDUNG MINERAL TIMAH DI DAERAH LAUT PAYAKUNDUR, PROVINSI KEPULAUAN RIAU *THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SOILS CONTAINING TIN MINERALS OFF PAYAKUNDUR SEA, KEPULAUAN RIAU PROVINCE*

Nur Khoirullah¹⁾, Irvan Sophian²⁾, Zufialdi Zakaria²⁾, Dicky Muslim²⁾, Yadvi Arma³⁾

¹⁾Program Pascasarjana, FTG-UNPAD,

²⁾Laboratorium Geologi Teknik, FTG-UNPAD,
Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor

³⁾PT Timah. Tbk

Email : nurkhoirullah@yahoo.co.id

Diterima : 17 Februari 2015

Direvisi : 30 Maret 2015

Disetujui : 30 April 2015

ABSTRAK

Sifat fisik dan mekanik material (batuan ataupun tanah) merupakan sifat penting dalam memahami kekuatan dan karakteristik material. Daerah penelitian terletak pada Laut Payakundur dikenal sebagai *Tin Belt of Sumatera* yang kaya akan kandungan timah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik tanah yang dapat menunjang data pemboran geologi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penelitian lapangan melalui uji penetrasi standar dan sampel yang terambil diuji di laboratorium guna mendapatkan nilai sifat fisiknya.

Karakteristik tanah yang ditemukan diklasifikasikan ke dalam USCS menjadi tanah CL, CH, SC, dan SW. Nilai kadar air berkisar dari 13-80%. Nilai berat jenis berkisar dari 2,53-2,74. Nilai berat isi berkisar dari 14,7 sampai 21,5 KN/m³. Nilai N-SPT lapangan dikoreksi menjadi 70 % energi standar. Karakteristik sifat fisik tanah lokasi penelitian banyak dipengaruhi oleh air, sehingga menyebabkan nilai kadar air yang cukup tinggi terutama pada tanah lempung. Pada satuan SW terdapat mineral *cassiterite* dan didominasi oleh bentuk butiran yang subangular yang diinterpretasikan tertransportasi dekat dari sumbernya. Korelasi dari nilai N-SPT dapat mengetahui nilai mekanika tanahnya namun uji laboratorium untuk mekanika tanah tetap diperlukan

Kata kunci : Timah, SPT, Tanah, Sifat Fisik dan Mekanik

ABSTRACT

The physical and mechanical characteristics of material (rocks and soils) are important to understand their natural strength. Study area is located off Payakundur Sea, known as part of the Tin Belt of Sumatera rich in containing tin minerals. This study aims to reveal the physical and mechanical characteristics of soils to support data acquisition by geologic bore. Methods in study consist of Standard Penetration Test (SPT) and sampling in the field and laboratory works to obtain physical characteristics of soil.

Based on the USCS classification, soil units in the study area consist of CL, CH, SC and SW. Water content ranges from 13-80%. Specific gravity ranges from 2.53-2.74. Volume unit weight ranges from 14.7-21.5 KN/M³. Values of N-SPT from the field measurement are corrected to be 70% of standard energy. This characteristic of soil is influenced by high values of water content, especially for the clayey soils. In the SW unit, cassiterite minerals are dominated by subangular grain shape, which can be interpreted as transported near to the source. The values of corrected N-SPT can be used to predict the mechanical properties of soils, however laboratory analysis is necessary to obtain these properties.

Keywords : Tin, SPT, Soils, Physical and Mechanical Properties.

PENDAHULUAN

Sifat fisik dan mekanik material (batuan ataupun tanah) merupakan sifat penting dalam memahami kekuatan dan

karakteristik material. Pada tanah khususnya tanah residual akan memiliki sifat yang berbeda-beda di tiap jenis yang berbeda-beda. Daerah penelitian terletak pada Laut Payakundur yang secara

geologi merupakan jalur sabuk timur (*eastern province*) granit Asia Tenggara yang berumur Karbon, Perm, dan Trias. Jalur ini dikenal sebagai *Tin Belt of Sumatera* yang kaya akan kandungan timah putih (Cobbing, 1992).

Menurut Kim *et. al.*, (2011), perhitungan parameter sifat tanah merupakan bagian penting yang berkaitan dengan gaya-gaya yang bekerja dalam penggalian material. Estimasi dari parameter tanah ini digunakan dalam rumus perhitungan untuk simulasi penggalian. Reece (1964) memaparkan rumus perhitungan pemindahan material bumi (*Fundamental Earthmoving Equation*; FEE) yang didalamnya terdapat parameter sifat tanah. Patel *et. al.*, (2012) menjelaskan bahwa parameter sifat tanah akan berperan penting dalam rumus FEE tersebut. Variasi nilai parameter tanah tersebut, diambil dari pengujian di laboratorium. Selain data pemboran geologi, data geologi teknik juga diperlukan dalam usaha penambangan lepas pantai dalam menemukan potensi sumberdaya alam, yaitu terkait dengan kekuatan alat yang sesuai dengan karakteristik keteknikan material tanah yang akan digali.

Tanah yang mengandung mineral timah pada lokasi penelitian berada pada kondisi di bawah permukaan laut. Penggalian tanah tersebut menggunakan peralatan ekskavator yang memerlukan parameter tanah yang didapatkan dari hasil SPT maupun dari sampel yang terambil untuk di uji sifat keteknikannya di laboratorium. Jenis tanah yang berbeda akan menghasilkan sifat keteknikan yang berbeda pula. Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sifat fisik dan mekanik tanah yang mengandung mineral timah pada Laut Payakundur, dalam upaya mendukung kegiatan pemboran geologi sehingga akan membantu

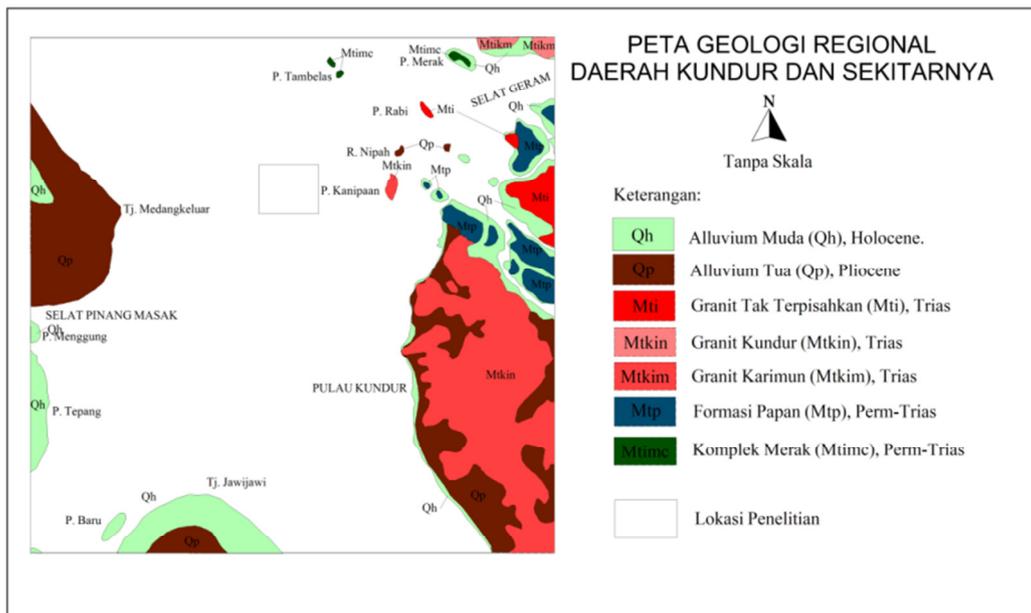
perencanaan produksi mineral timah untuk tercapai target produksi yang telah ditetapkan.

KAJIAN PUSTAKA

Geologi Lokal

Secara geologi, daerah Karimun – Kundur termasuk dalam jalur timur (*eastern province*) granit Asia Tenggara yang berumur Karbon, Perm dan Trias yang kaya dengan kandungan timah. Granit ini terbentuk pada saat orogenesis Trias yang mengangkat batuan granit ke permukaan sebagai satu rangkaian pulau-pulau timah yang membujur dari daratan Thailand – Malaysia hingga Bangka – Belitung, jalur timah ini dikenal sebagai *Tin Belt of Sumatera* yang kemudian dikenal sebagai jalur granit Asia Tenggara (Cobbing, 1992). Pola penyebaran endapan timah di perairan Karimun – Kundur, secara lateral sampai saat ini diidentifikasi sebagai endapan aluvial fluvial dengan pola penyebaran secara lateral (Sari, 2010).

Setyanto, dkk (2008) memaparkan mineral timah di daerah Kepulauan Riau berasal dari batuan granit yang mengalami deformasi dan pelapukan. Salah satu batuan granit yang dilakukan penelitian di daerah P. Batam dan P. Bintan, berwarna abu-abu kemerahan hingga kehijauan, berbutir kasar dengan komposisi mineral feldspar, kuarsa, hornblende dan biotit. Mineral utama umumnya adalah bertekstur primer dan membentuk suatu pluton batholit bertipe asam yang tersingkap dengan baik di daratan P. Batam dan P. Bintan. Hasil penelitian Setyanto, dkk (2008) menunjukan kandungan timah (Sn) antara 10-150 ppm dan kuarsa (SiO₂) umumnya dengan kandungan di atas 74,54%. Nilai ini tergolong tinggi di atas 66% yang pernah dilakukan oleh Cobbing (1992).



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Kundur (tanpa skala), modifikasi dari Cameron (1992)

Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test atau Uji Penetrasi Standar, banyak digunakan untuk mengetahui kekuatan material tanah. Oyediran dan Famakinwa (2015) menjelaskan bahwa SPT merupakan salah satu metode *insitu* untuk mendapatkan data geoteknik, yaitu dengan mengetahui ketahanan dari setiap penetrasi untuk tanah. Rogers (2006) menjelaskan bahwa SPT sudah menjadi standar dalam prosedur penyelidikan geoteknik pada setiap industri. Tujuan dari SPT adalah membantu mendapatkan data bawah permukaan yang dapat digunakan untuk melakukan korelasi dengan sifat keteknikannya.

Walaupun SPT tidak dianggap sebagai metode yang sempurna dan dapat diandalkan untuk investigasi, nilai N_{cor} memberikan informasi yang berguna berkaitan dengan konsistensi tanah kohesif dan densitas relatif dari tanah non kohesif. Korelasi antara nilai N_{cor} dan densitas relatif dari tanah berbutir yang direkomendasikan oleh Peck, *et.al.* (1974, dalam Murthy, 2007) ditunjukkan dengan Tabel 1. Sebelum menggunakan tabel tersebut, nilai N terukur harus dikoreksi terhadap energi standar dan tegangan

overburden. Korelasi yang diberikan pada Tabel 2 hanya sebagai panduan dan dapat bervariasi tergantung kehalusan dari pasir tersebut.

Meyerhoff (1956, dalam Murthy, 2007) menyarankan persamaan perkiraan berikut untuk menghitung sudut geser dalam Φ dari nilai yang diketahui D_r ,

Untuk tanah berbutir dengan pasir halus dan lanau lebih dari 5 persen,

$$\Phi^{\circ} = 25 + 0,15D_r$$

Untuk tanah berbutir dengan pasir halus dan lanau kurang dari 5 persen,

$$\Phi^{\circ} = 30 + 0,15D_r$$

Dimana D_r ditunjukkan dalam persen.

Peck *et al.*, (1974, dalam Murthy, 2007) telah memberikan contoh untuk tanah kohesif jenuh, korelasi antara N_{cor} dengan konsistensi. Korelasi ini cukup berguna tetapi harus digunakan sesuai dengan kondisi tanah yang ditemui di lapangan. Tabel 2 memberikan korelasi nilai N_{cor} .

Nilai N_{cor} yang digunakan pada tabel adalah jumlah pukulan yang dikoreksi terhadap rasio energi standar R_{es} . Praktek ini adalah untuk menghubungkan q_u dengan N_{cor} sebagai berikut,

$$q_u = k N_{cor} \text{ kPa}$$

Tabel 1. Korelasi N_{cor} dan Φ dengan densitas relatif

N_{cor}	Kepadatan	Densitas Relatif, D_r (%)	Φ (°)
0-4	<i>Very loose</i>	0-15	<28
4-10	<i>Loose</i>	15-35	28-30
10-30	<i>Medium</i>	35-65	30-36
30-50	<i>Dense</i>	65-85	36-41
>50	<i>Very Dense</i>	>85	<41

Tabel 2. Korelasi antara N_{cor} dan q_u

Konsistensi	N_{cor}	q_u , (kPa)
<i>Very Soft</i>	0-2	<25
<i>Soft</i>	2-4	25-50
<i>Medium</i>	4-8	50-100
<i>Stiff</i>	8-15	100-200
<i>Very Stiff</i>	15-30	200-400
<i>Hard</i>	<30	>400

Dimana q_u adalah *unconfined compressive strength*
 Atau $k = q_u/N_{cor}$ kPa Dimana, k adalah faktor proporsional.
 Sebuah nilai dari k telah direkomendasikan oleh Bowles (1996).

Menurut Teng (1992), kuat geser pada tanah kohesif (dengan kondisi sudut geser dalam $\Phi = 0$) adalah $s = c = 0.5 q_u$. Sehingga dapat ditarik kesimpulan, untuk korelasi nilai kohesi pada hasil N_{cor} SPT merupakan setengah dari nilai q_u .

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu metode pengujian langsung pada lapangan, dengan menggunakan uji penetrasi standar (SPT) sesuai dengan Anon (2008) dan Rogers (2006). Pada kegiatan lapangan dilakukan juga pengambilan sampel yang terambil dalam uji SPT ini. Sampel ini kemudian dipakai dalam pengujian laboratorium guna mengetahui karakteristik sifat fisiknya. Sedangkan karakteristik sifat mekanik tanahnya, diambil dari hasil korelasi jumlah pukulan SPT di lapangan yang telah terkoreksi.

Tiga koreksi terhadap nilai SPT lapangan agar dapat dijadikan panduan dalam mendapatkan sifat mekanik tanah menurut Murthy (2007) meliputi:

1. Koreksi terhadap efisiensi palu
2. Panjang batang, sampler dan koreksi terhadap lubang bor

3. Koreksi terhadap tegangan *overburden* pada tanah berbutir (C_N)

C_N tersebut menurut Liao dan Whitman (1986, dalam Murthy, 2007) adalah:

$$C_N = \left[\frac{95,76}{\rho'_0} \right]^{1/2} \dots \dots \dots \text{Rumus 1}$$

Dimana ρ'_0 = tegangan vertikal efektif dalam satuan kN/m^2 (kPa)

Dengan N_{cor} ditunjukkan sebagai

$$N_{cor} = C_N \times N \times E_n \times C_d \times C_s \times C_b \dots \text{Rumus 2}$$

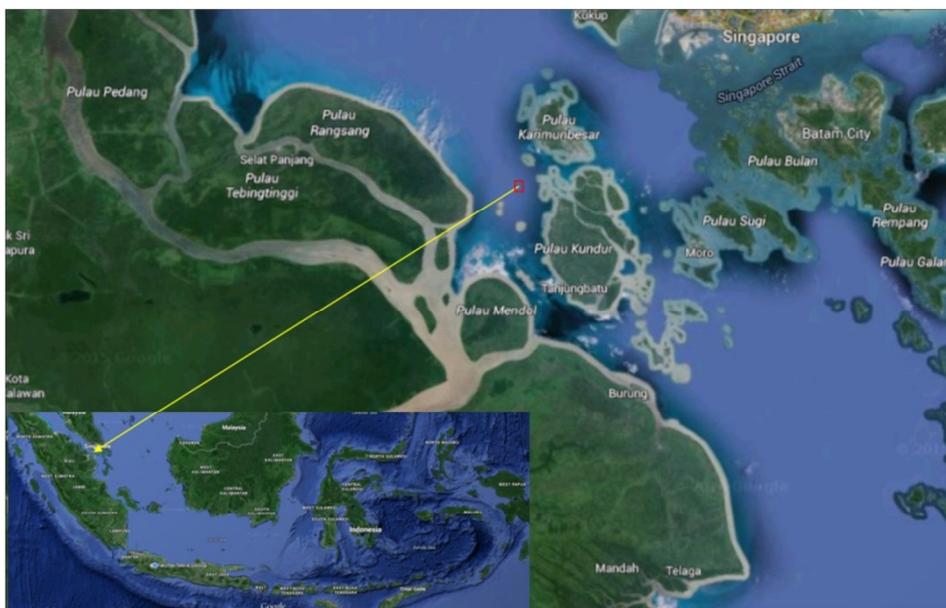
N_{cor} ini terkait dengan rasio energi standar yang digunakan oleh perencana tambang. N_{cor} dapat ditunjukkan sebagai N_{70} atau N_{60} tergantung pilihan dari ahli geoteknik. Dalam rumus N_{cor} di atas, C_N adalah koreksi nilai dari tegangan vertikal saja. Namun C_N hanya berlaku untuk tanah berbutir saja, dimana $C_N = 1$ untuk tanah kohesif pada seluruh kedalaman.

Sedangkan tanah adalah agregat dari sekumpulan partikel mineral, termasuk void yang terisi udara dan atau air di dalamnya. Tanah adalah produk dari pelapukan batuan. Dan setiap jenis tanah itu berbeda-beda tergantung daripada

batuan asalnya (Das, 2003). Bowles (1989) menambahkan bahwa Tanah merupakan produk sampingan deposit akibat pelapulan batuan pada kerak bumi dan/atau batuan yang tersingkap dalam matriks tanah. Karena bahan tanah yang belum terkonsolidasi ini merupakan bagian terbesar dari permukaan bumi, baik di darat, maupun di laut, danau, dan daerah-daerah lain yang ditutupi air. Tanah yang menjadi objek penelitian sebagian besar merupakan tanah hasil transportasi, dicirikan dengan perbedaan litologi yang cukup signifikan.

HASIL PENELITIAN

Kondisi litologi daerah penelitian berupa endapan sedimen berumur Kuartar yang diperkirakan hasil transportasi dari material sekitar Laut Payakundur. Terdapat dua jenis material yang dominan, yaitu klastika halus berupa lempung dan klastika kasar berupa pasir-kerikil. Pasir yang ditemui didominasi oleh mineral-mineral antara lain kuarsa, plagioklas, feldspar, mika, dan timah. Material pasir ini diperkirakan berasal dari lapukan batuan satuan Granit Kundur yang terdapat dekat dari lokasi penelitian.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian



(a)



(b)

Gambar 3. Sampel hasil SPT yang dimasukkan dalam uji laboratorium (a) Lempung Plastis dan Kaku; (b) Pasir lempungan padat

Hasil penelitian menunjukkan adanya kesamaan dari karakteristik tanah yang ditemukan di lokasi penelitian. Tanah ini kemudian dibagi menjadi tanah kohesif dan tanah non-kohesif. Tanah kohesif dicirikan dengan sifat plastis dan ukuran butiran tanah yang didominasi ukuran lempung. Tanah non-kohesif dicirikan dengan butiran yang bersifat lepas, dengan ukuran bervariasi dari pasir berukuran pasir halus sampai kerikil. Kesamaan karakteristik ini kemudian dikelompokkan berdasarkan sifat keteknikannya yaitu mengacu kepada

unified soil classification system (USCS) dalam Bowles (1989).

Dari hasil SPT ini dapat dilakukan korelasi dengan sifat geoteknik tanah untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam (f) pada tanah non-kohesif berdasarkan Meyerhof (1956, dalam Murthy, 2007) dan nilai kohesi (c) berdasarkan Peck (1974, dalam Murthy, 2007) dan Teng (1992) pada tanah kohesif, yang terlebih dahulu dikoreksi berdasarkan beberapa faktor menjadi 70 persen dari energi standar menurut Bowles (1994).

Tabel 3. Hasil SPT lapangan dan jenis tanah berdasarkan USCS

Titik Pemboran	Kedalaman (m)	N SPT	Kode USCS	Kadar Air (%)	Berat Jenis	Berat Isi γ (KN/m ³)
1	13,4	1	CH	80,53	2,54	14,7
	25,4	1	CH	45,89	2,68	17,2
	36,9	15	SW	16,32	2,74	19,4
2	29,9	19	SC	18,12	2,76	20,1
	31,4	25	SW	21,12	2,74	16,8
	37,4	15	CH	70,40	2,53	15,2
	43,4	35	SC	21,24	2,74	17
3	21,5	21	SW	13,29	2,60	17,8
	31,5	22	SW	16,60	2,69	19,8
	36,1	50	SW	13,83	2,74	18,2
4	26	42	CL	38,36	2,69	17,7
	31,5	12	CH	43,75	2,69	17,3
	40,5	54	SC	14,50	2,74	18,1
	49	28	SC	15,69	2,74	21,5
5	28,5	42	SC	14,44	2,74	20,8
	34	11	CH	47,36	2,69	17
	41,5	65	SW	13,35	2,74	20,7
6	33,7	70	SC	26,58	2,74	19,4
	42,9	74	SW	26,31	2,73	19,5

Tabel 4. Nilai SPT terkoreksi dan korelasi terhadap sifat fisik dan mekanik tanah

Titik Bor	Depth (m)	USCS Code	N _{obsv}	N ₇₀	Densitas Relatif			Konsistensi		
					Densitas	D _r (%)	Φ (°)	Konsistensi	q _u , (kPa)	Kohesi (Teng, 1992)
1	13,4	CH	1	1	-	-	-	Very Soft	<25	<12,5
	25,4	CH	1	1	-	-	-	Very Soft	<25	<12,5
	36,9	SW	15	6	Loose	22	<28	-	-	-
2	29,9	SC	19	8	Loose	28	<28	-	-	-
	31,4	SW	25	13	Medium	39,5	31	-	-	-
	37,4	CH	15	12	-	-	-	Stiff	157,75	78,875
	43,4	SC	35	15	Medium	42,5	31	-	-	-

Titik Bor	Depth (m)	USCS Code	N _{obsv}	N ₇₀	Densitas Relatif			Konsistensi		
					Densitas	D _r (%)	Φ (°)	Konsistensi	q _u , (kPa)	Kohesi (Teng, 1992)
3	21,5	SW	21	13	Medium	39,5	31	-	-	-
	31,5	SW	22	10	Medium	35	30	-	-	-
	36,1	SW	50	22	Medium	53	34	-	-	-
4	26	CL	42	34	-	-	-	Hard	>400	>200
	31,5	CH	12	10	-	-	-	Stiff	131,25	65,625
	40,5	SC	54	23	Medium	54,5	34	-	-	-
	49	SC	28	9	Loose	31	<28	-	-	-
5	28,5	SC	42	19	Medium	48,5	33	-	-	-
	34	CH	11	9	-	-	-	Stiff	118,75	59,375
	41,5	SW	65	24	Medium	55	34	-	-	-
6	33,7	SC	70	30	Medium	65	36	-	-	-
	42,9	SW	74	28	Medium	62	36	-	-	-

Secara keseluruhan, kelompok tanah pada lokasi penelitian dikelompokkan menjadi,

1. Satuan CL (*Clay Low Plasticity*)

Satuan ini merupakan satuan lempung plastisitas rendah yaitu dominasi oleh lempung pasir, dengan nilai N₇₀ 34, dengan konsistensi keras, dengan kadar air 38,36 %, berat jenis 2,69, berat isi 17,7 KN/m³, dan nilai kohesi >200 Kpa.

2. Satuan CH (*Clay High Plasticity*)

Satuan ini merupakan satuan lempung dengan plastisitas tinggi, dengan nilai N₇₀ 1-12, konsistensi sangat lunak sampai kaku, kadar air 43,75% sampai 80,53%, berat jenis 2,53-2,69, berat isi 14,7-17,3 KN/m³, dan nilai kohesi kurang dari 12,5 sampai 78,8 Kpa.

3. Satuan SC (*Clayey Sand*)

Satuan ini merupakan pasir lempungan, dengan densitas relatif lepas sampai medium, N₇₀ 8-30, kadar air 14,44% sampai 26,58%, berat jenis 2,74-2,76, dan berat isi 17-21,5 KN/m³, dan nilai sudut geser dalam kurang dari 28° sampai 36°.

4. Satuan SW (*Well graded Sand*)

Satuan ini merupakan pasir bergradasi baik dengan fraksi kerikilan dan terkadang ada material lempung, dengan densitas relatif lepas sampai medium, N₇₀ 6-28, kadar air 13,35% sampai 26,31%, berat jenis 2,60-2,74, dan berat isi 16,8-20,7 KN/m³, dan nilai sudut geser dalam kurang dari 28° sampai 36°.



Gambar 4. Pengujian SPT di laut lepas

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan dominasi CH dalam lokasi penelitian, namun dibedakan dengan CH bernilai N-SPT kecil dengan CH bernilai N-SPT sedang. CH yang bernilai N-SPT kecil ini terdapat dalam lapisan atas pada titik bor 1. Satuan CH ini memiliki nilai kadar air yang cukup besar, sesuai dengan sifat lempung yaitu menahan air yang cukup tinggi. Satuan CL dengan nilai N₇₀ 34 ini

patut diteliti lebih lanjut dikarenakan pada kondisi lapangan dijumpai pasir lempungan, namun dalam uji lab justru ditemukan dominasi lempung. Hal ini dapat disebabkan jumlah sampel yang kurang sehingga praktis yang diuji merupakan dominan lempungnya, bukan pasirnya. Nilai N-SPT yang cukup besar ini jika dikorelasikan akan menyebabkan nilai kohesi yang besar juga. Sedangkan CL sendiri merupakan lempung plastisitas rendah dan akan menjadi tak lazim apabila nilai kohesinya sangat besar, sehingga patut diteliti lebih lanjut.

Pada tanah non-kohesif, didominasi oleh satuan SW, yaitu satuan pasir bergradasi baik, dengan adanya material kerikil yang menyebabkan nilai N-SPT cukup tinggi. Satuan ini terletak lebih dalam dibanding satuan SC. Satuan ini terdapat mineral kuarsa, feldspar dengan bentuk butir relatif menyudut tanggung, yang diinterpretasikan tertransportasi dekat dari sumber batuan utamanya. Pada satuan SW ini mineral timah (kasiterit) ditemukan dengan warna merah berkilap lemak. Satuan SC merupakan pasir lempungan, dengan ukuran pasir relatif lebih kecil dibanding pasir yang terdapat disatuan SW. Mineral kuarsa dan feldspar yang terdapat pada satuan ini berukuran butir relatif membulat tanggung yang diinterpretasikan tertransportasi jauh dari sumbernya atau dapat diinterpretasikan keadaan arus yang membawanya tenang dan jauh. Pada satuan SC ini ditemukan mineral kasiterit walau dalam jumlah yang relatif sedikit.

Berdasarkan hasil lapangan, didapati Lapisan SW yang mengandung mineral kasiterit memiliki ketebalan rata-rata sebesar 8 meter. Luas area dari enam titik bor mencapai 1.777.350 m². Berat jenis dari tanah SW ini mencapai 2,74 Ton/m³. Sehingga diperkirakan potensi cadangan lapisan SW pembawa mineral kasiterite ini mencapai 38.959.512 Ton berdasarkan sumber daya mineral hipotetik. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai persentase kandungan mineral kasiterit pada lapisan SW ini sehingga akan didapatkan potensi cadangannya.

Berdasarkan hasil korelasi nilai mekanika tanah, didapati nilai sudut geser dalam pada lapisan pasirnya berkisar kurang dari 28° hingga mencapai 36°. Hal ini perlu diperhatikan mengingat sudut lereng maksimal apabila akan dilakukan penggalian ataupun pengerukan pada lapisan SW ini disarankan mendekati nilai sudut geser dalamnya. Hal ini bertujuan mencegah longsoran bawah laut yang dapat mengganggu aktivitas penambangan.

KESIMPULAN

Tanah pada lokasi penelitian dapat diklasifikasikan kedalam USCS sesuai dengan karakteristik sifat fisiknya. Karakteristik tanah yang belum terkonsolidasi dan bersifat lepas, menyebabkan setiap tanah hanya dapat dikorelasikan sesuai dengan referensi yang ada, yaitu pada tanah kohesif nilai sudut geser dalam dianggap nol dan pada tanah non-kohesif kohesi dari material dianggap nol. Sudut lereng bawah laut diharapkan mempertimbangkan nilai sudut geser dalam material tanahnya. Data mekanika tanah dapat diperoleh dengan mengkorelasikan nilai N-SPT. Namun uji mekanika tanah tetap diperlukan guna mengetahui hubungan nilai uji laboratorium sebanding atau tidaknya dengan nilai korelasi N-SPT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Manager Eksplorasi PT Timah, Tbk. yang telah mengizinkan pengambilan data serta membantu pendanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2008. SNI 4153: *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. BSN: Jakarta
- Bowles, J.E. 1994. *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill Intl. Book Co.: Singapore, 3rd edition, p. 8, p130-143
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi 2. Penerbit Erlangga: Jakarta, 561 hal.

- Cameron, N.R., S.A.Ghazali dan S.J. Thompson. 1982. *Peta Geologi Lembar Siak Indrapura dan Tj. Pinang, Sumatra*. PPPG: Bandung
- Cobbing, E.J. 1992. *The Granites of the South-East Asian Tin Belt (BGS Overseas Memoirs)*. British Geological Survey: UK
- Das, Braja M. 2003. *Advanced Soil Mechanics*. New York : Hemisphere Publishing Corporation and McGraw-Hill.
- Kim, Y. B., Kang, H., Ha, J. H., Kim, M. S., Kim, P. Y., Baek, S. J., Park, J.,. 2011. *A Study On The Virtual Digging Simulation Of A Hydraulic Excavator*. Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea. Pages 95-100
- Murthy, V.N.S. 2007. *Advanced Foundation Engineering*. CBS Publishers & Distributors: New Delhi
- Oyediran, Ibrahim Adewuyi and Famakinwa, Julius Omotayo. 2015. *Geotechnical Basis for Building Instability and Failure: Case Study from Lagos, Nigeria*. Springer: International Journal of Engineering Geology for Society and Territory Vol 5. p 365-370
- Patel, B. P., and Prajapati, J. M., 2012. *Evaluation of Resistive Force using Principle of Soil Mechanics for Mini Hydraulic Backhoe Excavator*. International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 2, No. 4, August 2012. p 386-391
- Reece, A. R., 1964. "The Fundamental Equation of Earth-Moving Machines," proceeding of *Instn. Mechanical Engineers*. vol. 179, Pt. 3F, 1964, pp. 16 – 22.
- Rogers, David J. 2006. *Subsurface exploration using the standard penetration test and the cone penetrometer test*. Department of Geological Sciences & Engineering. 125 McNutt Hall
- Sari, Dyna Dwi Ratna. 2010. *Laporan Geotin 1: Survey Perairan Kundur*. PT TIMAH: tidak diterbitkan.
- Setyanto, A., Usman, E., Setiady, D. 2008. *Potensi Mineral Kuarsa dan Endapan Timah Letakan Dalam Kaitannya dengan Batuan Granit LP-1017 Batam, Kepulauan Riau*. Buletin Sumber Daya Geologi, Vol 3. No.1, Hal..... Badan Geologi: Bandung.
- Teng, Wayne C. 1992. *Foundation Design*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. USA
- Kim, Y. B., Kang, H., Ha, J. H., Kim, M. S., Kim, P. Y., Baek, S. J., Park, J.,. 2011. *A Study On The Virtual Digging Simulation Of A Hydraulic Excavator*. Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea. Pages 95-100.