

## KORELASI NILAI SONDIR TERHADAP PARAMETER GEOTEKNIK DAN REMBESAN PADA PONDASI TANGGUL FASE E, KALIBARU, JAKARTA UTARA

### *CORRELATION OF CONE PENETRATION TEST VALUE TO GEOTECHNICAL PARAMETERS AND SEEPAGE OF E-PHASE NCICD SEAWALL, KALIBARU, NORTH JAKARTA*

**Pulung Arya Pranantya<sup>1)</sup> Emi Sukiyah<sup>2)</sup> Edi Prasetyo Utomo<sup>3)</sup> Hendarmawan<sup>4)</sup>**

<sup>1)</sup> Pusat Litbang Sumber Daya Air, Jl. Ir H Juanda No. 193 Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40135;

[poel\\_pranantya@yahoo.com](mailto:poel_pranantya@yahoo.com)

<sup>2)4)</sup> Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjajaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor, Indonesia, 45363 [hendarmawan@unpad.ac.id](mailto:hendarmawan@unpad.ac.id); [emisukiyah@gmail.com](mailto:emisukiyah@gmail.com)

<sup>3)</sup> Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jl. Sangkuriang, Kompleks LIPI, 40135, Dago, Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40135; [ediprasetyoutomo@gmail.com](mailto:ediprasetyoutomo@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

*Tembok sisi luar waduk pada rancangan fase Darurat tanggul laut NCICD merupakan rencana pengamanan kawasan DKI Jakarta dari banjir ROB. Banjir yang terjadi merupakan rangkaian dari besarnya curah hujan di bagian hulu dan naiknya muka air laut di bagian hilir. Diantara penyebab tersebut juga terdapat fenomena land subsidence yang memberi dampak terhadap banjir. Tanggul sisi luar tersebut masih memiliki beberapa alternatif jenis tanggul yang akan dibangun, diantaranya adalah tembok laut, sheet pile, spun pile bahkan timbunan tanah biasa. Penelitian membahas mengenai kemungkinan tanggul timbunan untuk pengamanan banjir. Ketersediaan data untuk perhitungan adalah tiga buah titik sondir di sekitar kawasan muara Kalibaru. Dari data tersebut, didapatkan parameter masing masing litologi sehingga analisis dapat dilanjutkan menjadi analisis rembesan dan stabilitas. Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat juga diprediksi mengenai bahaya piping atau erosi buluh di dasar timbunan. Bahaya piping di dasar tanggul terjadi pada material pasir pada saat ketinggian muka air laut existing dan saat ketinggian muka air laut bertambah dua meter tanpa menggunakan sheet pile. Berdasarkan korelasi tiga titik lokasi data sondir di daerah penelitian terhadap Grafik Robertson 1990 didapatkan lima lapisan tanah berturut-turut dari atas ke bawah adalah: lempung lanauan, pasir lanauan, lanau pasir, pasir lanauan, dan pasir.*

**Kata Kunci:** Sondir, NCICD, Seawall, Rembesan, Piping.

#### **ABSTRACT**

*The outer side dike reservoir in the design of the NCICD Emergency phase is one of the DKI Jakarta action plan to resolve ROB flood problem. The flood is caused by a series of rainfall upstream and sea level rise downstream. Among the causes there are also land subsidence phenomena that have an impact on flooding. The outer side of the dike still has several alternative dykes that will be built, including concrete wall, sheet pile, spun pile and even ordinary embankments. This research discusses about the possibility of embankment dykes and piles foundation for flood protection. Data availability for calculation is three CPT points around Kalibaru estuary area. From these data, we get the parameters of each lithology layer so that the analysis can be continued into stability analysis and seepage. Based on these calculations, it can also be predicted about the dangers of piping or reed erosion at the base of the embankment. The dangers of piping at the bottom of the embankment occur in the sand material at the height of the existing sea level and when the sea level increases by two meters without the use of sheet pile. Based on the correlation of three dot location data location in the research area on Robertson Graph 1990 obtained five layers of land in a row from top to bottom are: silty clay, silty sand, silt sand, silty sand lanauan, and sand.*

**Keywords:** CPT, NCICD, Seawall, Seepage, Piping.

## PENDAHULUAN

Berdasarkan kesadaran pemerintah akan pentingnya intervensi pada wilayah pesisir Jakarta, maka disusunlah proyek "Strategi Pengaman Pantai Jakarta" atau disebut juga NCICD (National Capital Integrated Coastal Development). Kawasan Kalibaru termasuk lokasi yang diprioritaskan dalam roadmap proyek tersebut. Dari proyek di Kalibaru ini akan dilakukan pembuatan tanggul pantai Kalibaru, tanggul sisi dalam waduk, tanggul sisi luar waduk, tanggul Cakung drain, dan pembaruan sistem drainase Kalibaru. Fokus bahasan pada penelitian ini adalah tanggul sisi luar waduk yang membatasi waduk retensi air banjir di bagian dalam dan laut lepas di bagian luar.

Alternatif desain untuk tanggul sisi luar dinding laut Kalibaru dibangun menggunakan timbunan material dengan komposisi dan susunan tertentu. Tanggul ini akan membatasi air waduk di sisi dalam dan air laut di sisi luarnya. Rumah pompa akan diletakkan diatas tanggul sisi luar waduk pada titik yang telah ditentukan. Air akan dipompa ke luar waduk menuju laut saat ketinggian air di dalam waduk melebihi dari standar yang telah ditentukan untuk menjaga keseimbangan sistem drainase di Kalibaru. Oleh karena itu, pendekatan geologi terkait konduktifitas hidraulik tanah dan rembesan dari laut menuju waduk perlu diketahui agar memaksimalkan kinerja pompa.

Permasalahan yang menjadi fokus bahasan penelitian adalah sifat fisik dan mekanik tanah pada daerah penelitian yang mempengaruhi debit rembesan. Debit rembesan air laut pada tanggul sisi luar waduk pada saat sekarang dan pada saat kondisi ketinggian muka air laut bertambah sebesar 2 meter. Bahaya piping berpotensi terjadi pada desain tanggul dengan sheet pile sedalam 12,5 meter.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah pada daerah penelitian. Dengan diketahuinya parameter sifat fisik, maka dapat diketahui juga debit rembesan di bawah tanggul.

Lokasi penelitian berada pada tanggul luar Fase Darurat proyek pengembangan pesisir ibukota Jakarta. Posisi tanggul berada di kawasan sekitar muara sungai Kalibaru, di bagian utara Jakarta Timur. Penelitian dilakukan pada wilayah kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

## KAJIAN PUSTAKA

Kondisi Geologi Teknik Jakarta Utara dan sekitarnya, Wilayah Jakarta Utara didominasi oleh alluvium pantai, pematang pantai, sungai, dan rawa yang berumur 5.000 tahun yang belum mengalami konsolidasi maksimal. Disamping itu tanah alluvium di kawasan Jakarta Utara mempunyai sifat keteknikan yang variatif baik pada sebaran vertikal maupun lateralnya, sehingga sangat mempengaruhi kondisi geologi tekniknya. Kondisi yang demikian menjadi penyebab terjadinya keretakan pada bangunan, amblesan tanah, banjir ROB, jalan runtuh dan lain sebagainya. Karakteristik geologi teknik Jakarta Utara dibagi kedalam 3 zona, berdasarkan parameter daya dukung tanah dan zona kekuatan tanah dan batuan (Herminio. dkk, 2012)

Zona A memiliki daya dukung sangat rendah, yaitu  $< 0,1 \text{ kg/cm}^2$ , dan kekuatan tanah atau batuan sangat rendah dengan nilai  $< 8,157 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$ . Potensi kebencanaan yang sering terjadi yaitu banjir, banjir rob, land subsidence, swelling clay, slacking clay dan expansive soil.

Zona B sebagian daerah terstrukturkan yang arahnya ke timur, dimana terdapat zona lemah yang rentan bencana. Daya dukung Zona B termasuk rendah, yaitu  $< 0,2 \text{ kg/cm}^2$ , dengan kekuatan tanah atau batuan rendah, nilainya  $8,157 \times 10^{-3} - 7,341 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$ . Potensi kebencanaan yang terjadi yaitu banjir, land subsidence, liquifaksi, swelling clay, slacking clay dan expansive soil.

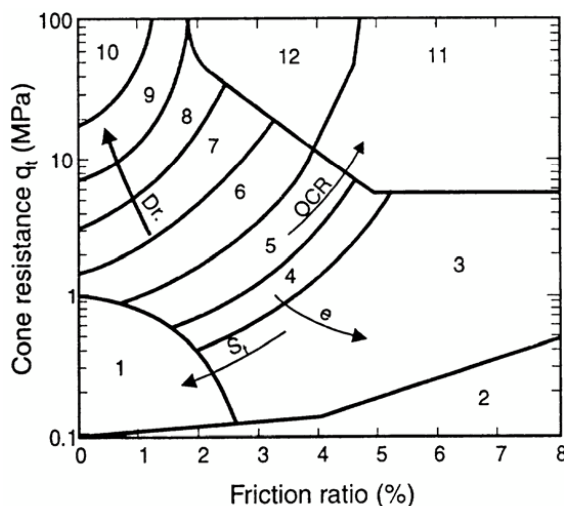
Zona C sebagian daerah terstrukturkan yang arahnya ke barat peta, dimana terdapat zona lemah yang rentan bencana. Daya dukung Zona C termasuk kategori menengah, nilainya  $< 0,5 \text{ kg/cm}^2$  dengan kekuatan tanah atau batuan menengah, nilainya  $7,341 \times 10^{-2} - 2,447 \times 10^{-1} \text{ kg/cm}^2$ . Potensi bencana yang terjadi yaitu, banjir, land subsidence, liquifaksi.

Cone Penetration Test (CPT) /Sondir merupakan metode investigasi tanah secara in situ. Metode ini bisa sangat efektif dalam mengkarakteristikan material tanah pada daerah penelitian, terutama daerah dengan lapisan stratigrafi yang tidak terkonsolidasi, material lunak, lensa yang tidak menerus, material organik (gambut), dan material yang berpotensi mengalami liquifaksi. Sekarang sudah banyak yang melakukan CPT dengan friction cone dan piezocone elektrik yang dalam pengoperasiannya mengacu kepada ASTM D-5778.

Melalui uji CPT di lapangan kita bisa menentukan lapisan dan tipe tanah dengan menggunakan grafik berdasarkan nilai cone resistance dan sleeve friction. Grafik yang pertama kali digunakan untuk menentukan jenis tanah memakai nilai tahanan konus ( $q_c$ ) dan friction ratio ( $Fr = (f_s/q_c) \times 100\%$ ) dipublikasikan oleh Schmertmann (1978) dan Douglas bersama Olsen (1981), akan tetapi grafik yang dipublikasikan oleh Robertson et al. (1986) lebih sering dipakai dibandingkan dengan grafik yang lain (Long, 2008 dalam Robertson, 2010).

Grafik yang dibuat oleh Robertson pada tahun 1986 memiliki dua belas jenis tanah (lihat Gambar 1) akan tetapi pada tahun 1990 dengan menggunakan parameter yang dinormalisasi jumlahnya menjadi sembilan jenis tanah saja. Dengan demikian, penggunaan grafik tersebut bisa dilakukan dilapangan menggunakan tabel Zona tipe tanah qt-Fr (Robertson et al, 1986)(lihat Tabel 1).

Secara umum keuntungan grafik Robertson menggunakan parameter ternormalisasi adalah deskripsi tanah yang lebih mendekati kondisi sebenarnya. Akan tetapi pada saat tegangan efektif vertikal pada suatu daerah memiliki rentang nilai 50 kPa sampai 150 kPa, maka biasanya tipe tanah yang akan didapatkan dari parameter yang tidak ternormalisasi akan memiliki perbedaan yang tidak signifikan dengan yang ternormalisasi.



**Gambar 1** Zona tipe tanah qt-Fr (Robertson et al, 1986)

Grafik SBT (Soil Behavior Type) awal Robertson et al (1986) didasarkan pada cone resistance,  $q_t$  (atau  $q_c$ ) pada skala log dengan friction ratio ( $Fr$ ) pada skala normal. Gambar 2 memberikan update dari grafik dengan cone resistance tanpa dimensi, ( $q_c / p_a$ ), di mana  $p_a$  = tekanan atmosfer ( $p_a = 1 \text{ bar} =$

100 kPa = 0,1 MPa) dan  $Fr$  (dalam persen), keduanya menggunakan skala log untuk memperluas porsi bila  $Fr < 1\%$ . Jumlah tipe tanah juga telah dikurangi menjadi 9 agar cocok dengan grafik terbaru Robertson (1990). Tabel tersebut merangkum penyatuan dari 12 zona tipe tanah (Robertson et al.1986) (Tabel 2) untuk mencocokkan dengan grafik terbaru yang memiliki 9 zona tipe tanah (Robertson, 1990).

**Tabel 1** Zona tipe tanah qt-Fr (Robertson et al, 1986)

| Zone | Soil Behaviour Test              |
|------|----------------------------------|
| 1    | <i>Sensitive Fine Grained</i>    |
| 2    | <i>Organic Material</i>          |
| 3    | <i>Clay</i>                      |
| 4    | <i>Silty Clay to Clay</i>        |
| 5    | <i>Clayey silt to silty clay</i> |
| 6    | <i>Sandy Silt to Clayey Silt</i> |
| 7    | <i>Silty Sand to Sandy Silt</i>  |
| 8    | <i>Sand to Silty Sand</i>        |
| 9    | <i>Sand</i>                      |
| 10   | <i>Gravelly Sand</i>             |
| 11   | <i>Very Stiff Fine Grained</i>   |
| 12   | <i>Sand to Clayey sand</i>       |

**Tabel 2** Revisi zona tipe tanah parameter CPT ternormalisasi dengan integrasi overconsolidated / cemented (Robertson 1990)

| Zone | Soil Behaviour Test              |
|------|----------------------------------|
| 1    | <i>Sensitive Fine Grained</i>    |
| 2    | <i>Organic Material</i>          |
| 3    | <i>Clay</i>                      |
| 4    | <i>Silty Clay to Clay</i>        |
| 5    | <i>Clayey silt to silty clay</i> |
| 6    | <i>Sandy Silt to Clayey Silt</i> |
| 7    | <i>Silty Sand to Sandy Silt</i>  |
| 8    | <i>Sand to Silty Sand</i>        |
| 9    | <i>Sand</i>                      |
| 10   | <i>Gravelly Sand</i>             |
| 11   | <i>Very Stiff Fine Grained*</i>  |
| 12   | <i>Sand to Clayey sand*</i>      |

\* overconsolidated or cemented

Jefferies dan Davies (1993) mengidentifikasi bahwa indeks tipe tanah,  $I_c$ , bisa mewakili zona tanah pada grafik ternormalisasi di mana  $I_c$  adalah radius lingkaran konsentris yang menentukan batas-batas jenis tanah pada grafik. Robertson dan Wride, (1998) memodifikasi definisi  $I_c$  untuk menyesuaikan grafik Robertson (1990) (Tabel 3)  $Q_t - F_r$ . Ketika grafik SBT non-normalisasi disajikan pada skala log-log (Gambar 2) batas- batas tanah juga merupakan hasil dari bentuk lingkaran konsentris. Indeks tipe tanah tak ternormalisasi (ISBT) dapat didefinisikan sebagai berikut

$$ISBT = [(3.47 - \log(q_c/p_a))^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$$

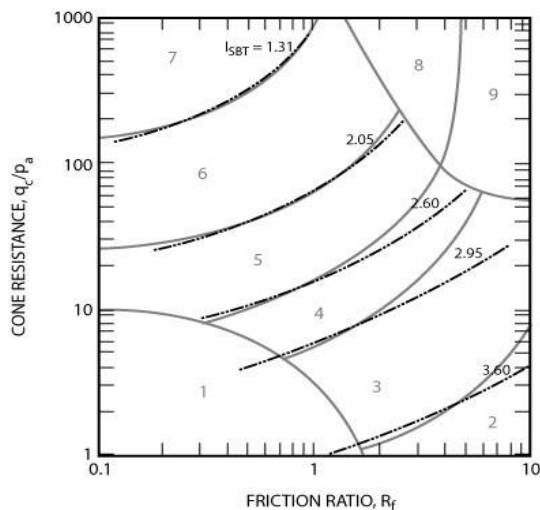
.....(1)

Dimana:

$q_c$  = CPT cone resistance (or corrected conerestistance,  $q_t$ )

$F_r$  = friction ratio =  $(f_s/q_c) \times 100\%$

$f_s$  = CPT sleeve friction



**Gambar 2. Zona tipe tanah  $q_c/Pa-F_r$  (Robertson, 1990)**

Mayoritas perhitungan pada literatur didasarkan pada hubungan  $q_c$  dan  $N$ -SPT (jumlah pukulan *Standar Penetration Test*). Nilai  $q_c$  dianggap lebih konsisten daripada  $f_s$ . Dalam penelitian terbaru (Jarushi, 2015), enam belas lokasi tes yang berbeda dievaluasi untuk menemukan kemungkinan  $q_c$  dibandingkan dengan trend  $N$ . Lima jenis tanah umum dari enam belas lokasi telah diidentifikasi sebagai berikut:

- 1) Pasir halus (SP)
- 2) Pasir halus lanauan (SM)
- 3) Pasir halus lempungan (SC)
- 4) Pasir halus lempung lanauan SM / SC, dan
- 5) Pasir halus dan lanau (SP-SM).

Jenis tanah lainnya (misalnya, Clay (CH dan CL)) diasumsikan jarang ditemukan, dan jika ada, mereka hanya lapisan tipis. Oleh karena itu, data ini akan memberikan korelasi kualitas buruk. Total kedalaman galian SPT berkorelasi ke seluruh kedalaman sounding CPT (Tabel 4).

**Tabel 3** Zona tipe tanah  $q_c/Pa-F_r$  (Robertson, 1990)

| Zone | Soil behaviour type (sbt)                          |
|------|----------------------------------------------------|
| 1    | <i>Sensitive fine-grained</i>                      |
| 2    | <i>Clay - organic soil</i>                         |
| 3    | <i>Clays: clay to silty clay</i>                   |
| 4    | <i>Silt mixtures: clayey silt &amp; silty clay</i> |
| 5    | <i>Sand mixtures: silty sand to sandy silt</i>     |
| 6    | <i>Sands: clean sands to silty sands</i>           |
| 7    | <i>Dense sand to gravelly sand</i>                 |
| 8    | <i>Stiff sand to clayey sand*</i>                  |
| 9    | <i>Stiff fine-grained*</i>                         |

**Tabel 4** Korelasi nilai CPT-SPT berdasarkan jenis tanah

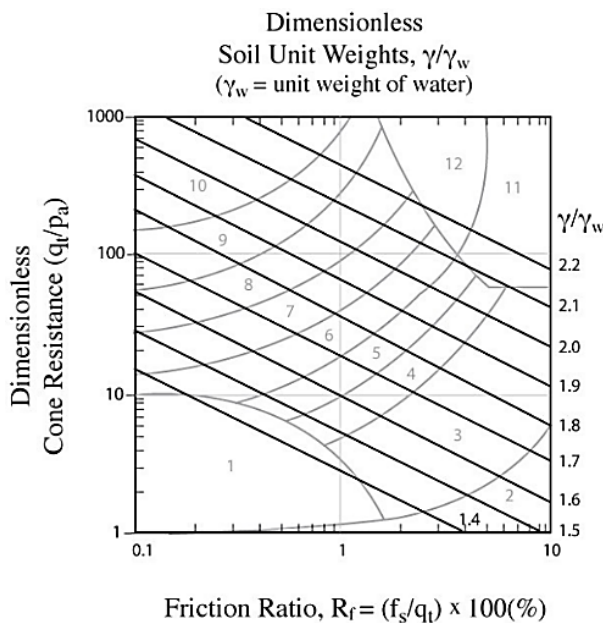
| Soil Description (USCS)        | Correlation Equation  |                      | Correlation Coefficient $R^2$ |       |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|-------|
|                                | Linear                | Power                | Linear                        | Power |
| Silty Fine Sand (SM)           | $q_c = 0.12N + 5.0$   | $q_c = 4.4N^{0.16}$  | 0.35                          | 0.12  |
| Fine Sand (SP)                 | $q_c = 0.291N + 2.43$ | $q_c = 2.6N^{0.42}$  | 0.60                          | 0.28  |
| Fine Sand with Silt (SP-SM)    | $q_c = 0.15N + 7.2$   | $q_c = 5.6N^{0.14}$  | 0.11                          | 0.02  |
| Clayey Fine Sand (SC)          | $q_c = 0.06N + 5.7$   | $q_c = 4.1N^{0.17}$  | 0.09                          | 0.12  |
| Silty Clayey Fine Sand (SM/SC) | $q_c = 0.22N + 2.6$   | $q_c = 0.95N^{0.64}$ | 0.37                          | 0.50  |

Tabel 5 menyajikan nilai  $N$  bersama dengan lokasi referensi.  $N$  nilai untuk penelitian ini dihitung dengan menggunakan rata-rata aritmatika dari  $q_c/N$  untuk setiap jenis tanah. Nilai  $N$  lebih tinggi dari literatur yang disarankan.  $N$  ditemukan untuk hampir semua jenis tanah kecuali tanah SP. Data SP cukup sesuai dengan hasil literatur yang diterbitkan. Pasir lanauan memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi daripada yang disarankan.

Parameter sifat fisik mekanik tanah yang biasa digunakan dalam analisa geoteknik adalah bobot isi tanah, sedangkan sifat mekaniknya adalah kuat geser batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam. Data mekanika tanah yang diambil sebaiknya dari sampel tanah yang tidak terganggu (*Undisturbed soil*) (gambar 3).

**Tabel 5** Perbandingan nilai CPT-SPT beberapa literatur

| DESKRIPSI<br>TANAH<br>(USCS) | REFERENSI PERBANDINGAN   |                              |                               | HASIL<br>PENELITIAN |
|------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------|
|                              | CHIN<br>(1988)<br>TAIWAN | SCHMERTMANN<br>(1970)<br>USA | ROBERTSON<br>(1986)<br>CANADA |                     |
| SM                           | 0,4-0,5                  | 0,3-0,4                      | 0,3-0,4                       | 0,8                 |
| SP                           | 0,5                      | 0,3-0,4                      | 0,5-0,6                       | 0,6                 |
| SM                           | -                        | -                            | 0,2                           | 0,8                 |
| SM SC                        | -                        | 0,2                          | 0,3                           | 0,4                 |
| SP-SM                        | -                        | -                            |                               | 0,7                 |

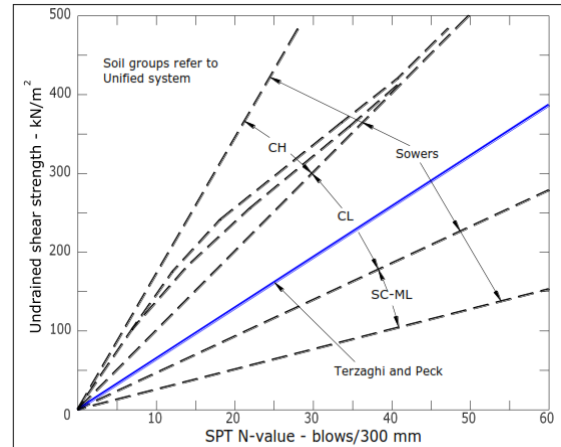


**Gambar 3** Korelasi Nilai SPT vs Kohesi Tanah (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Secara teori kohesi batuan akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Nilai kohesi (c) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (direct shear strength test) dan pengujian triaxial (triaxial test) (gambar 4).

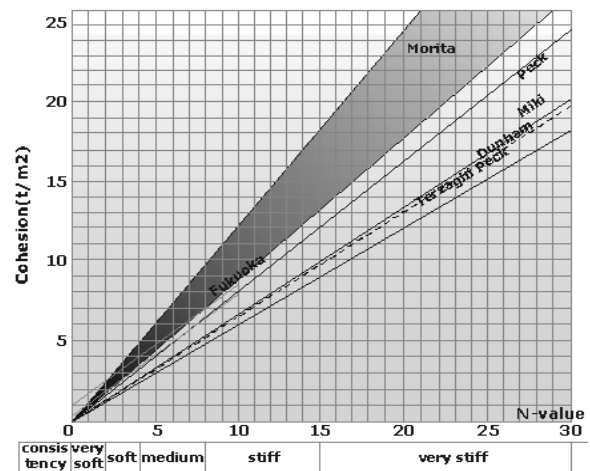
Melalui gambar 4, dapat diketahui hubungan antara N-SPT atau jumlah pukulan dalam Soil Penetration Test dengan kuat geser atau shear strength, pada tanah sesuai dengan hasil percobaan empiris yang dikembangkan oleh Terzaghi. Nilai

kuat geser yang didapatkan merupakan dasar dari perhitungan selanjutnya yaitu daya dukung dan besarnya rembesan yang mungkin dapat terjadi di lokasi penelitian.



**Gambar 4** Hubungan Antara N-SPT dan undrained shear strength (Terzaghi & Peck, 1967)

Untuk tanah lempung, kohesi dapat diambil menggunakan hubungan antara *undrained cohesion* dan NSPT seperti pada Gambar 5.



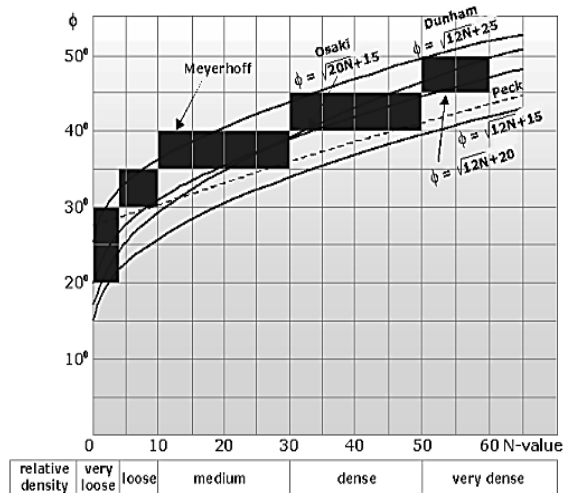
**Gambar 5** Hubungan Antara Kohesi Dengan Nilai-N untuk Tanah Kohesif (Terzaghi & Peck, 1967)

Grafik di atas digunakan untuk menentukan *undrained shear strength* untuk *cohesive soils*. Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

**Tabel 6** Hubungan Antara N-SPT dan Sudut Geser (After Bowles, 1988)

| Description             | Very loose | Loose | Medium | Dense | Very dense |
|-------------------------|------------|-------|--------|-------|------------|
| Dr                      | 0          | 0.15  | 0.35   | 0.65  | 0.85       |
| SPT $N'_{70}$           |            |       |        |       |            |
| Fine                    | 1-2        | 3-6   | 7-15   | 16-30 | ?          |
| Medium                  | 2-3        | 4-7   | 8-20   | 21-40 | > 40       |
| Coarse                  | 3-6        | 9-5   | 25-10  | 26-45 | > 45       |
| $\phi$                  |            |       |        |       |            |
| Fine                    | 26-28      | 28-30 | 30-34  | 33-38 |            |
| Medium                  | 27-28      | 30-32 | 32-36  | 36-42 | < 50       |
| Coarse                  | 28-30      | 30-34 | 33-40  | 40-50 |            |
| $\gamma_{sat} (KN/m^3)$ | 11-16      | 14-18 | 17-20  | 17-22 | 20-23      |

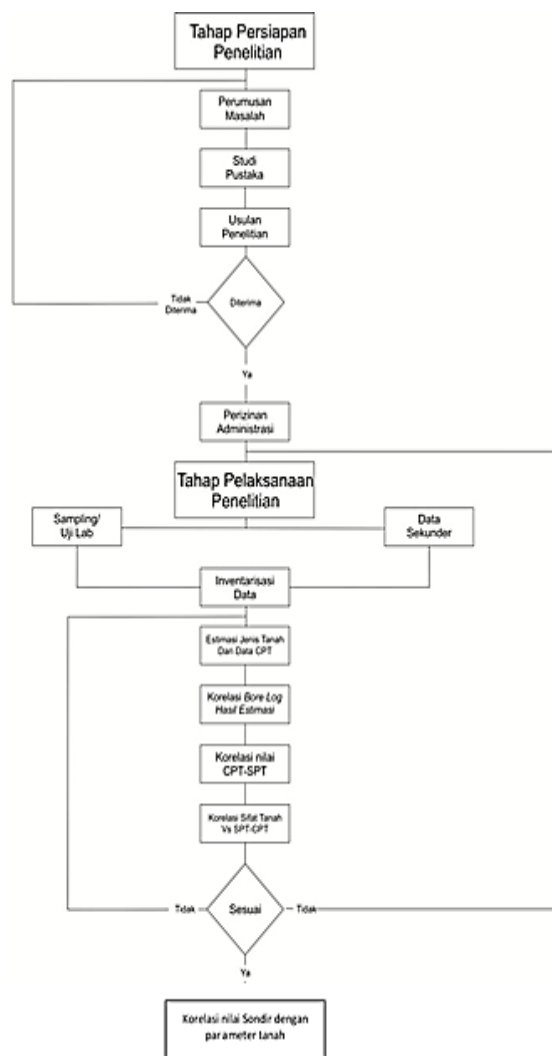
Friksi internal untuk pasir ditentukan dari hubungan sudut friksi dan  $N'$ -SPT seperti Gambar 6 berikut:

**Gambar 6** Hubungan Antara Sudut Geser Dan Nilai N Untuk Pasir (K. Terzaghi) menunjukkan korelasi antara  $N'$ -SPT vs Sudut Geser Dalam

## METODOLOGI

Pembahasan difokuskan pada debit rembesan dan bahaya piping yang terjadi di daerah penelitian. Data yang diperoleh sangat terbatas sehingga yang didapatkan adalah tiga titik lokasi sondir dan beberapa hasil uji laboratorium terkait sifat fisik dan mekanik tanah di daerah penelitian. Untuk mendapatkan parameter perhitungan yang diperlukan, ketiga data sondir ini kemudian akan di plot ke dalam Grafik Robertson (1990) sehingga dapat digunakan untuk mengestimasi jenis

tanah di daerah penelitian. Setelah mengetahui jenis tanah, maka di cari nilai parameter geoteknik tanah di daerah penelitian dengan menggunakan data sondir dan nilai SPT yang dikorelasikan dari data sondir yang dimiliki. Dalam melakukan penelitian, dilakukan beberapa tahapan seperti digambarkan pada diagram dibawah (Gambar 7).

**Gambar 7** Diagram alir penelitian korelasi nilai sondir dengan parameter geoteknik

Kondisi geologis suatu daerah menjadi aspek dasar yang harus diteliti sebelum dilakukan berbagai aktifitas keteknikan. Analisis didasarkan pada Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu (Turkandi et al., 1992), (Gambar 8). Lokasi penelitian di sekitar kawasan muara Sungai Kalibaru (Gambar 9)

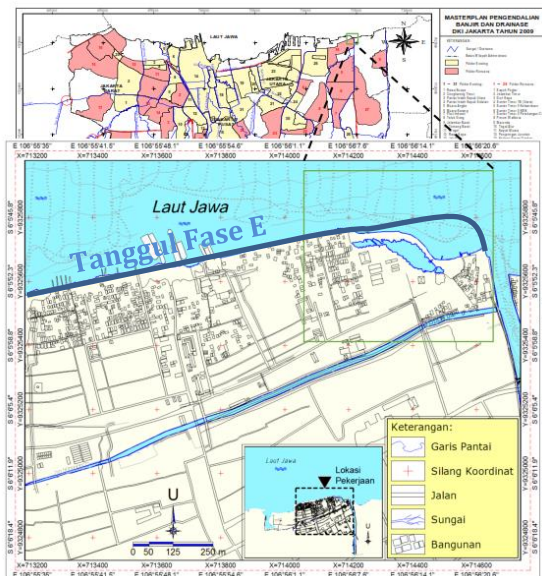


**Gambar 8** Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, (Turkandi et al, 1992)

pengambilan *disturb sample*: S. 03 (E 713426 m N 9325586 m), S. 04 (E 713547 m N 9325618 m), S.05 (E714461 m N 9325634 m) dengan elevasi masing-masing adalah 0 m (gambar 10).



**Gambar 10** Lokasi Investigasi geoteknik di Kalibaru – Muara Cakung Drain (sumber: BBWS CC)



**Gambar 9** Lokasi penelitian di muara Kalibaru DKI Jakarta (Sumber: BBWS CC)

## PEMBAHASAN

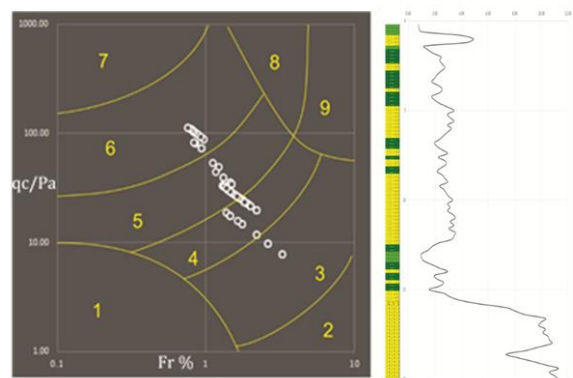
Investigasi geoteknik dilakukan guna mendapatkan data keadaan perlapisan, jenis dan sifat-sifat mekanis dan fisis tanah di lokasi pekerjaan. Investigasi geoteknik dilakukan dengan pembooran dan uji penetrasi serta pengambilan sampel pada lubang bor di beberapa lokasi survei. Pada tiap lokasi dilakukan kegiatan:

- Pembooran tanah
- Uji sondir (*cone penetration test*)

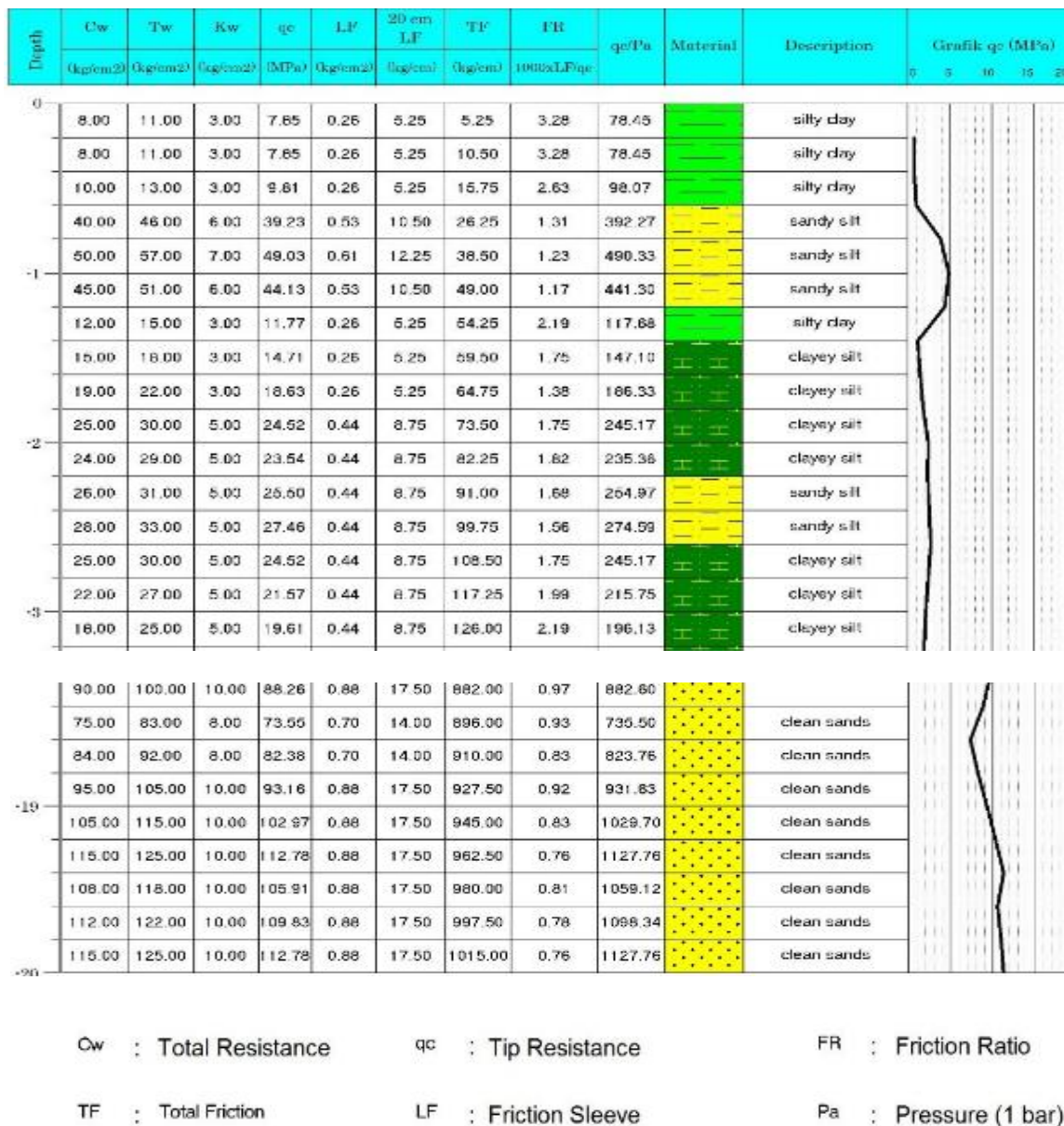
Berikut merupakan lokasi detail data sondir di daerah penelitian, Kalibaru-Jakarta Utara. Terdapat tiga titik lokasi sondir dan pembooran untuk

### Soil Behavior Type (SBT) pada Lokasi Titik S.03

Hasil Grafik *plotting* dari data CPT (nilai  $q_c/P_a$  terhadap *friction ratio*) pada lokasi titik S.03 seperti pada Gambar 11. Kondisi tegangan efektif vertikal pada titik ini berkisar antara 50-150 kPa, sehingga *plotting* data bisa menggunakan Grafik Robertson yang telah ternormalisasi meskipun data CPT belum dikoreksi. Terlihat dari Grafik di atas bahwa sebaran data terdapat dan 6. Berdasarkan Grafik Robertson 1990 jenis tanah untuk zona 3, 4, 5, dan 6 berturut-turut adalah: *Clays: clay to silty clay*, *Silt mixtures: clayey silt & silty clay*, *Sand mixtures: silty sand to sandy silt*, dan *Sands: clean sands to silty sand*. Adapun *bore log* pada titik S.03 berdasarkan *Soil Behavior Type* (SBT) menurut Robertson 1990 seperti ditunjukkan oleh Gambar 11 (kanan, notasi dan besaran tidak terbaca).



**Gambar 11** Plotting data CPT lokasi titik S.03 berdasarkan Grafik Robertson 1990(kiri). Bore log titik S.03 berdasarkan *Soil Behavior Type* (SBT) Robertson 1990 (kanan)



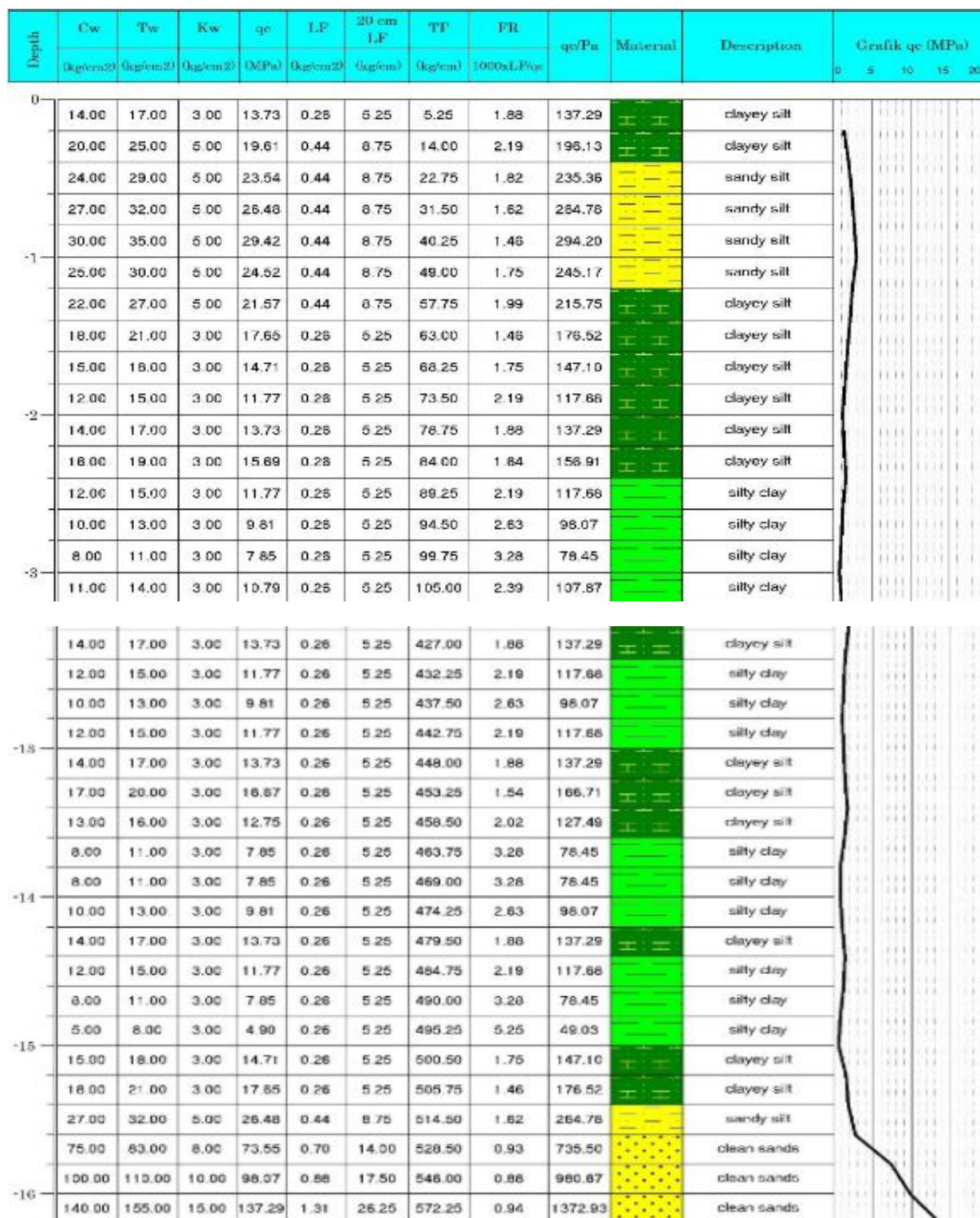
Gambar 12 Grafik CPT dan estimasi jenis tanah pada titik S.03

Dari hasil penelitian, didapatkan hubungan antara nilai sondir dan jenis litologi beserta hubungan dengan parameter geoteknik. Hasil pengolahan Grafik CPT dan estimasi jenis tanah berdasarkan Grafik Robertson 2010 pada titik S.03 dapat dilihat sebagai berikut (gambar 12)

#### Soil Behavior Type (SBT) pada Lokasi Titik S.04

Berdasarkan plotting data CPT pada lokasi titik S.04, dapat dilihat Hasil Grafik nilai qc/Pa terhadap friction ratio. Kondisi tegangan efektif

vertikal pada titik ini berkisar antara 50-150 kPa, sehingga *plotting* data bisa menggunakan Grafik Robertson yang telah ternormalisasi meskipun data CPT belum dikoreksi (Gambar 13 kiri). Terlihat dari gambar dibawah, bahwa sebaran data terdapat pada zona 3, 4, 5, dan 6. Berdasarkan Grafik Robertson 1990 jenis tanah untuk zona 3, 4, 5, dan 6 berturut- turut adalah: Clays: clay to silty clay, Silt mixtures: clayey silt & silty clay, Sand mixtures: silty sand to sandy silt, dan Sands: clean sands to silty sand (Gambar 13 kanan).



Cw : Total Resistance

qc : Tip Resistance

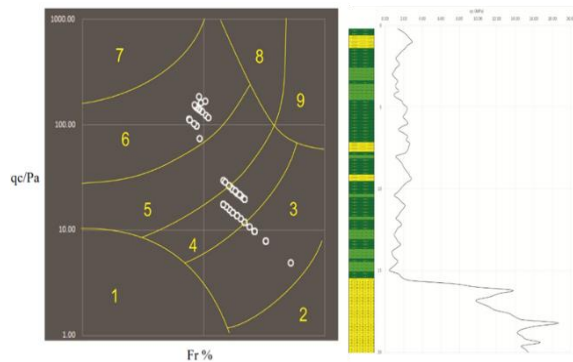
FR : Friction Ratio

TF : Total Friction

LF : Friction Sleeve

Pa : Pressure (1 bar)

**Gambar 13** Grafik CPT dan estimasi jenis tanah pada titik S.04



**Gambar 14** Plotting data CPT lokasi titik S.04 berdasarkan Grafik Robertson 1990 (kiri). Bore log titik S.04 berdasarkan Soil Behavior Type (SBT) Robertson 1990 Soil Behavior Type (SBT) pada Lokasi Titik S.05 (kanan)

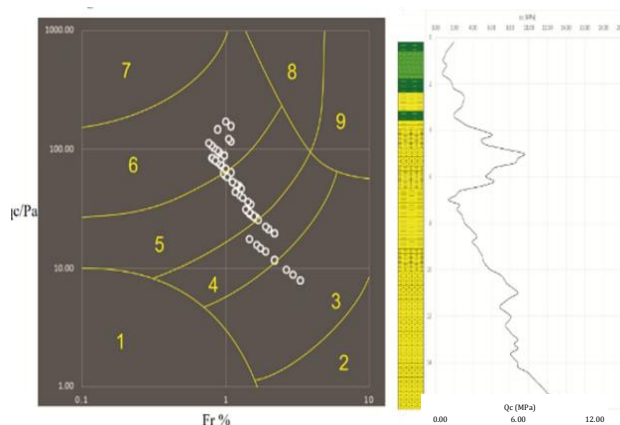
#### Soil Behavior Type (SBT) pada Lokasi Titik S.05

Hasil Grafik *plotting* dari data CPT (nilai  $qc/Pa$  terhadap *friction ratio*) pada lokasi titik S.05. Kondisi tegangan efektif vertikal pada titik ini berkisar antara 50-150 kPa, sehingga *plotting* data bisa menggunakan grafik Robertson yang telah ternormalisasi meskipun data CPT belum dikoreksi. Terlihat dari grafik diatas bahwa sebaran data terdapat pada zona 3, 4, 5, dan 6 (Gambar 15 kiri). Berdasarkan grafik Robertson 1990 jenis tanah untuk zona 3, 4, 5, dan 6 berturut-turut adalah: *Clays: clay to silty clay*, *Silt mixtures: clayey silt & silty clay*, *Sand mixtures: silty sand to sandy silt*, dan *Sands: clean sands to silty sand*. Adapun *bore log* pada titik S.05 berdasarkan *Soil Behavior Type* (SBT) menurut Robertson 1990 seperti ditunjukkan oleh Gambar 15. Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka didapatkan Grafik CPT dan estimasi jenis tanah berdasarkan Grafik Robertson 2010 pada titik S.05 (Gambar 16).

Korelasi data CPT terhadap SPT dilakukan untuk mengestimasi parameter geoteknik tanah di daerah penelitian. Data CPT di peroleh pada tiga titik lokasi dan memiliki nilai parameter sifat fisik mekanik tanah. Untuk mendapatkan korelasi nilai SPT dengan data CPT dilakukan pendekatan untuk tanah non kohesif berdasarkan Jarushi (2015), dan untuk tanah kohesif berdasarkan Terzaghi (1967).

Berdasarkan hasil korelasi jenis tanah dengan data CPT menggunakan grafik Robertson 1990 didapatkan lima jenis tanah yaitu: lempung lanauan (*silty clay*) untuk zona 3, lanau lempungan (*clayey silt*) untuk zona 4, lanau pasir (*sandy silt*)

untuk zona 5, pasir lanauan (*silty sand*) untuk zona 5, dan pasir (*clean sand*) untuk zona 6.



**Gambar 15** Plotting data CPT lokasi titik S.03 berdasarkan Grafik Robertson 1990(kiri). Bore log titik S.05 berdasarkan Soil Behavior Type (SBT) Robertson 1990(kanan).

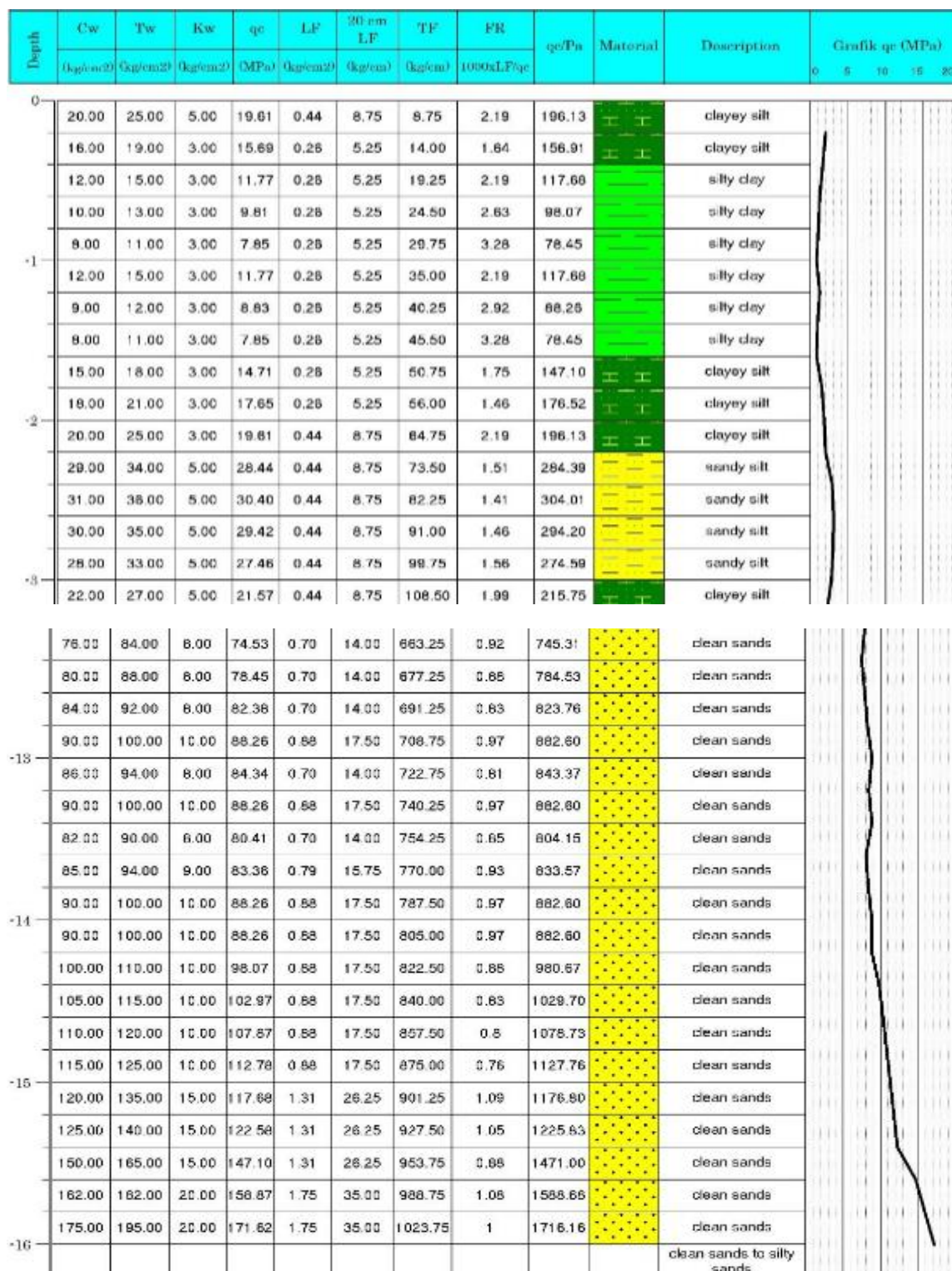
Korelasi nilai SPT terhadap data CPT dibedakan berdasarkan jenis tanah kohesif dan tanah non kohesif. Tanah non kohesif di daerah penelitian menurut diinterpretasi sebagai pasir lanauan (*silty sand*), dan pasir (*clean sand*). Tanah kohesif di daerah penelitian diinterpretasikan sebagai lempung lanauan (*silty clay*, lanau lempungan (*clayey silt*), dan lanau pasir (*sandy silt*).

#### Korelasi Parameter Geoteknik Terhadap Nilai SPT-CPT

Korelasi parameter geoteknik terhadap nilai CPT-SPT dilakukan setelah penentuan posisi tanggul di atas penampang. Lapisan tanah di bawah tanggul pada daerah penelitian memiliki karakteristik tanah yang cenderung mudah meloloskan air. Berdasarkan hasil penelitian, terdapat 5 lapisan tanah hingga kedalaman 20 m. Parameter geoteknik yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah permeabilitas ( $k$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\Phi$ ), dan berat isi tanah ( $\gamma$ ).

Dalam penentuan parameter geoteknik untuk kelima lapisan digunakan nilai parameter terkecil untuk tiap jenis tanah dengan simpangan baku tidak lebih dari 10%. Sifat fisik mekanik tiap jenis tanah di daerah penelitian dapat dilihat seperti pada tabel 7.

# Relasi Nilai Sondir terhadap Parameter Geoteknik dan Rembesan...(Pulung A. Pranantya)



Cw : Total Resistance

qc : Tip Resistance

FR : Friction Ratio

TF : Total Friction

LF : Friction Sleeve

Pa : Pressure (1 bar)

**Gambar 16** Hubungan CPT dan estimasi jenis tanah pada titik S.05

**Tabel 7** Sifat fisik mekanik lapisan tanah bawah tanggul, Kalibaru, Jakarta Utara (hasil perhitungan)

| Lithology            | (avg) c<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | (avg) phi | (avg) γ<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | (avg) k (m/s) |
|----------------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|
| Layer 1 (Silty Clay) | 21.23                           | 21.52     | 16.98                           | 3.23906E-09   |
| Std.deviation (%)    | 5.00                            | 0.74      | 0.11                            | 0             |
| Layer 2 (Silty Sand) | 70.95                           | 31.28     | 18.69                           | 1.71671E-06   |
| Std.deviation (%)    | 8.17                            | 1.01      | 0.06                            | 0             |
| Layer 3 (Sandy Silt) | 64.98                           | 26.98     | 18.10                           | 1.88824E-07   |
| Std.deviation (%)    | 3.81                            | 0.72      | 1.36                            | 8.08          |
| Layer 4 (Silty Sand) | 72.40                           | 31.36     | 18.70                           | 1.96018E-06   |
| Std.deviation (%)    | 2.83                            | 0.36      | 0.04                            | 5.50          |
| Layer 5 (Clean Sand) | 44.58                           | 30.38     | 19.02                           | 1.13016E-05   |
| Std.deviation (%)    | 5.86                            | 2.29      | 0.23                            | 4.46          |

**Rembesan (seepage)**

Debit rembesan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah yang ada pada dasar tanggul. Pondasi untuk suatu konstruksi tanggul merupakan salah satu hal penting, sehingga perlu diadakan peninjauan kembali mengenai masalah rembesan yang terjadi di bawah Tanggul Waduk Sisi Luar, Kalibaru. Perhitungan dilakukan pada saat kondisi muka air laut existing dan pada saat muka air laut bertambah dua (2) meter. Data sekunder yaitu data CPT dan *hand auger* yang dilakukan pada tiga titik. Perhitungan permeabilitas ekuivalennya adalah sebagai berikut:

Lapisan 1 H1: 2.4518 m k: 3.24E-09 m/s

Lapisan 2 H2: 3.9958 m k: 1.72E-06 m/s

Lapisan 3 H3: 2.6659 m k: 1.89E-07 m/s

Lapisan 4 H4: 0.9732 m k: 1.96E-06 m/s

Lapisan 5 H5: 9.9143 m k: 1.13E-05 m/s

$$Kx = ((H1 \times k1) + (H2 \times k2) + (H3 \times k3) + (H4 \times k4) + (H5 \times k5)) / (H1 + H2 + H3 + H4 + H5)$$

$$Kx = ((2.4518 \text{ m} \times 3.24\text{E} - 09 \text{ m/s}) + (3.9958 \text{ m} \times 1.72\text{E} - 06 \text{ m/s}) + (2.6659 \text{ m} \times 1.89\text{E} - 07 \text{ m/s}) + (0.9732 \text{ m} \times 1.96\text{E} - 06 \text{ m/s}) + (9.9143 \text{ m} \times 1.13\text{E} - 05 \text{ m/s})) / (2.4518 \text{ m} + 3.9958 \text{ m} + 2.6659 \text{ m} + 0.9732 \text{ m} + 9.9143 \text{ m})$$

$$Kx = 6.06622\text{E} - 06 \text{ m/s}$$

$$Ky = ((H1 + H2 + H3 + H4 + H5)) / (H1/k1 + H2/k2 + H3/k3 + H4/k4 + H5/k5)$$

$$Ky = ((2.4518 \text{ m} + 3.9958 \text{ m} + 2.6659 \text{ m} + 0.9732 \text{ m} + 9.9143 \text{ m})) / (2.4518 \text{ m}/3.24\text{E} - 09 \text{ m/s}) + (3.9958 \text{ m}/1.72\text{E} - 06 \text{ m/s}) + (2.6659 \text{ m}/1.89\text{E} - 07 \text{ m/s}) +$$

$$(0.9732 \text{ m}/1.96\text{E} - 06 \text{ m/s}) + (9.9143 \text{ m}/1.13\text{E} - 05 \text{ m/s})$$

$$Ky = 2.58142\text{E} - 08 \text{ m/s}$$

Perhitungan kembali debit rembesan daerah penelitian untuk melihat perbandingan dari debit yang dihasilkan menggunakan cara flow net. Perhitungan debit rembesan pada penelitian ini berfokus pada debit rembesan bawah tanggul. Pada pemodelan dan perhitungan debit rembesan ini hanya parameter permeabilitas lapisan tanah saja. Parameter masukan untuk permeabilitas tanah di daerah penelitian adalah sebagai berikut:

| Layer     | k (Permeabilitas) |
|-----------|-------------------|
| Lapisan 1 | 3.58E-09 m/s      |
| Lapisan 2 | 1.89E-06 m/s      |
| Lapisan 3 | 3.32E-07 m/s      |
| Lapisan 4 | 1.96E-06 m/s      |
| Lapisan 5 | 9.60E-06 m/s      |

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui debit rembesan pada kondisi muka air normal dan debit pada kondisi muka air bertambah 2 meter.

Perhitungan rembesan di dasar tanggul pada saat ketinggian muka air laut existing adalah sebagai berikut:

$$q = Hw \times \sqrt{Kx \cdot Ky} \times (Nf/Nd)$$

dimana : Nf = Jumlah lingkaran di garis aliran

Nd = Jumlah garis equipotensial

$$q = 4.70 \text{ m} \times \sqrt{6.06622\text{E} - 06 \text{ m/s} \times 2.58142\text{E} - 08 \text{ m/s}} \times (3/110)$$

$$q = 5.07242\text{E} - 08 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nilai debit tersebut merupakan nilai debit suatu titik pada Gambar dua dimensi. Sehingga untuk menentukan debit pada tanggul yang memiliki panjang 484 meter adalah sebagai berikut:

$$Q_{tanggul} = q \times \text{panjang tanggul}$$

$$= 5.07242E - 08 \text{ m}^3/\text{s} \times 484$$

$$= 2.45505E - 05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 2121.162266 \text{ L/day}$$

Perhitungan rembesan di dasar tanggul pada saat ketinggian muka air laut bertambah 2 meter adalah sebagai berikut

$$q = Hw \times \sqrt{kx.ky} \times (Nf/Nd)$$

$$q = 4.70 \text{ m} \times \sqrt{6.06622E - 06 \text{ m/s} \times 2.58142E - 08 \text{ m/s}} \times (3/110)$$

$$q = 7.23089E - 08 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nilai debit tersebut merupakan nilai debit suatu titik pada Gambar dua dimensi. Sehingga untuk menentukan debit pada tanggul yang memiliki panjang 484 meter adalah sebagai berikut:

$$Q_{tanggul} = q \times \text{panjang tanggul}$$

$$= 7.23089E - 08 \text{ m}^3/\text{s} \times 484$$

$$= 3.49975E - 05 \text{ m}$$

$$= 3023.784508 \text{ L/day}$$

## KESIMPULAN

Jenis tanah pada daerah penelitian berdasarkan Grafik Robertson 2010 termasuk ke dalam 4 jenis: Zona 3 (clays), Zona 4 (silt mixtures), Zona 5 (sand mixtures), dan zona 6 (clean sands). Parameter geoteknik hasil korelasi menggunakan data CPT dan SPT memperlihatkan bahwa tanah di daerah penelitian hingga ke dalaman 20 m pada S.03 dan S.04 masih merupakan jenis tanah lunak sedangkan pada S.05 tanah lunak hanya sampai kedalaman 16 m. Kondisi subsurface daerah penelitian hasil korelasi bore log menunjukkan keterdapatan lensa lempung dalam pasir yang menunjukkan lingkungan pengendapan pantai.

Debit rembesan minimum adalah pada saat ketinggian muka air laut existing (+2.7 m) dengan tanggul menggunakan sheet pile yaitu sebesar 3023.78 L/hari berdasarkan cara flow net

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terimakasih ditujukan kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air melalui kegiatan dukungan untuk PTPIN atau NCICD 2016 dan 2017. Terimakasih diucapkan kepada Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane (BBWS CC), dan Dinas Tata Air Pemprov. DKI Jakarta. Rekan rekan peneliti dan dosen promotor dari Univeritas Padjajaran dan LIPI.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andiani, Suhendar, Rudy, dan Rajiyowiryo, Hardoyo. Pertimbangan Kondisi Geologi Lingkungan Jakarta Utara Untuk Rencana Reklamasi. 2003. Buletin Geologi Tata Lingkungan (Bulletin of Environmental Geology), Vol. 13 No. 1: 52-59.
- Ardiansyah, Rony. 2010. Korelasi Hasil Percobaan CPT Dengan SPT Pada Lokasi Pusat Kota Pekanbaru. Universitas Islam Riau, Bandung.
- Astawa, I Nyoman. 2010. Geologi Bawah Permukaan Dasar Laut Berdasarkan Hasil Penafsiran Data Seismik Perairan Teluk Jakarta dan Sekitarnya. Buletin Sumber Daya Geologi 10 Volume 5 Nomor 1.
- Brassington, Rick. 2007. Field Hydrogeology Third Edition. John Wiley & Sons: England.
- Hamzah, Muhammad, dkk. 2008. Pemodelan Perembesan Air Dalam Tanah. Semnas Matematika dan Pendidikan Matematika.
- Hunt, Roy E. 2007. Characteristic of Geologic Materials and Formations A Field Guide For Geotechnical Engineer.
- Taylor & Francis Group: New York. Jarushi, Fauzi, Alkaabim, S., and Cosentino, Paul. 2015. A New Correlation between SPT and CPT for Various Soils. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological, and Geophysical Engineering. Vol. 9, No. 2.
- Kurnia, Undang, dkk. 2006. Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian: Departemen Pertanian.
- Nassaji, Frazad, Kalantari, Behzad. 2011. SPT Capability to Estimate Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils of Tehran, Iran. EJV, Vol. 16.
- Rachim, Armansyah. 2012. Pengaruh Stabilisasi Kapur Pada Permukaan Timbunan Terhadap Konstruksi Lereng dengan Metode Trial & Error Menggunakan GEO SLOPE/W. Universitas Hasanuddin: Makassar.

- Rogers, J. David. 2009. Fundamentals of Cone Penetrometer Test (CPT) Soundings. Missouri University of Science and Technology: USA.
- Robertson and Wride. 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 1998, 35(3): 442-459, <https://doi.org/10.1139/t98-017>
- Robertson, P.K. 2010. Soil Behavior Type: An Update. 2nd International Symposium on Cone Penetrating Testing. Huntington Beach, Canada: USA.
- Robertson, P.K. 2010b. Estimating In-Situ Soil Permeability from CPT and CPTu. 2nd International Symposium on Cone Penetrating Testing. Huntington Beach, Canada: USA.
- Robertson, P.K., and Cabal, K.L. 2010c. Estimating Soil Unit Weight from CPT. 2nd International Symposium on Cone Penetrating Testing. Huntington Beach, Canada: USA.
- Rushton, K.R. 2003. Groundwater Hydrology Conceptual and Computational Model. John Wiley & Sons Ltd: England.
- Talib, Ahmad. 2014. Tinjauan Rembesan di Dasar Bendung Alopohu Kabupaten Gorontalo. UNG: Gorontalo.
- Terzaghi, Karl, Peck, Ralph B., Mesri, Gholamreza. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice: Third Edition. John Wiley & Sons: England.
- Vidayanti, Desiana. 2008. Mekanika Tanah 1: 7 Rembesan dan Jaringan Aliran. Universitas Mercubuana: Jakarta.
- Vidayanti, Desiana, Simatupang, Pintor. T., Silalahi Sido. 2013. Korelasi Nilai N- SPT dengan Parameter Kuat Geser Tanah untuk Wilayah Jakarta dan Sekitarnya. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeks 7), UNS: Surakarta.