

# ANALISIS HASIL PENGUJIAN SONDIR UNTUK MENGETAHUI PENINGKATAN KEKUATAN TANAH SANGAT LUNAK DI LOKASI GATE HOUSE DALAM PEKERJAAN “GROUTING AT SEMARANG PUMPING STATION & RETARDING POND”

Hendry Tri Wibowo

(waynehendry2011@gmail.com)

Program Studi Teknik Geologi Universitas Diponegoro, Semarang

## ABSTRACT

*The water building structure at the mouth of the Semarang river as a flood prevention building in Panggung Lor village is a high settlement risk building structure. This is caused by lithological estuary region consisting predominantly of fine clay-sized sediments with a low level of consistency. The low value of consistency is comparable to the soil bearing capacity value of the water structure foundation pillars. Analysis of the Semarang river Gate House cone penetration test results aims to determine the increase of soil bearing capacity with the method of grouting on the site by using the cone penetration test results. From the three trial soil penetration test location before the grouting process, the very soft clay was found in the 0,6 to 15 metres in depth with 1 up to 4 kg/cm<sup>2</sup> of cones resistance value. For deepness 14,00 m - 20,00 m there are soft clay with cones resistance value (qc) 5 - 8 kg / cm<sup>2</sup>.. The determining processes of soil bearing capacity then consist of several processes. Based on this, the ultimate bearing capacity mean value before the grout process is about 19,45 with the allowable bearing capacity mean value about 3,97 ton. The ultimate bearing capacity mean value after the grout is about 38,557 ton with the allowable bearing capacity mean value 7,8625 ton. It appears that the increase of ultimate bearing capacity is about 98 % or about 1,9 times greater than before.*

*Keywords : soil bearing capacity, very soft soil, grouting, stable soil*

## PENDAHULUAN

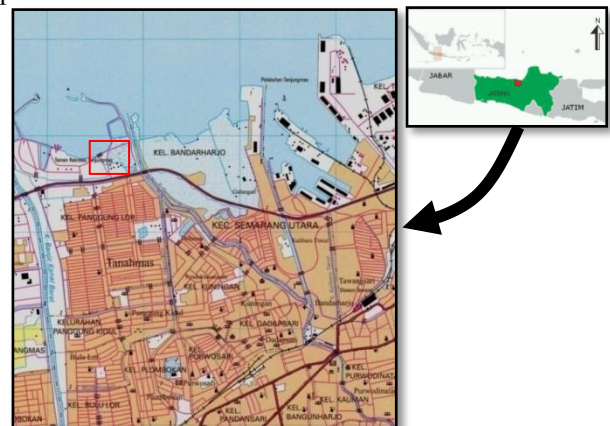
Kelurahan Panggung Lor merupakan salah satu kelurahan di kecamatan Semarang Utara yang terkena dampak banjir rob dari laut Jawa. Banjir rob ini masuk ke dalam wilayah kelurahan Panggung Lor melalui salah satu sungai stadia tua yang berada di Kota Semarang yaitu kali Semarang. Daerah ini merupakan daerah aluvium sehingga litologi yang terlihat hanya material lepas yang belum terlitifikasi dan berupa lempung. Kondisi inilah yang kemudian membuat tanah pada sekitar Kali Semarang mempunyai tingkat konsistensi relatif sangat lunak hingga lunak.

Proyek pembangunan Kali Semarang merupakan wujud bantuan dari Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia dalam mengatasi permasalahan banjir dan rob Kota Semarang. Wujud bantuan ini kemudian terkendala dengan dijumpainya pergeseran pondasi secara setempat akibat rendahnya daya dukung tanah di sekitar kali Semarang. Hal ini sejalan dengan amblesan tanah yang secara umum dijumpai di beberapa lokasi di Semarang utara. Dalam rangka menyempurnakan maksud pembuatan tanggul pencegah banjir rob di kali Semarang ini, maka diperlukan upaya peningkatan daya dukung tanah yang tepat.

Dengan semakin meningkatnya teknologi, maka semakin banyak pula penemuan-penemuan di bidang rekayasa geologi. *Grouting* merupakan salah satu inovasi baru yang dapat dipilih sebagai upaya penguatan tanah sangat lunak. *Grouting* dilakukan dengan menyuntikkan pasta semen ke dalam tanah dengan

tekanan tertentu melewati lubang bor. Dengan semakin meningkatnya kekuatan tanah, maka penurunan pondasi tidak lagi dijumpai dan tanggul kali Semarang dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Analisis hasil uji sondir untuk mengetahui peningkatan kekuatan tanah sangat lunak di lokasi Gate House Kali Semarang bertujuan untuk menentukan jenis tanah dan daya dukung tanah berdasarkan hasil sondir, mengetahui berapa besar daya dukung tanah yang terdapat di lokasi penelitian sebelum dan sesudah dilakukan metode grouting berdasarkan hasil sondir, dan mengetahui besarnya pengaruh metode grouting tersebut terhadap daya dukung tanah di lokasi penelitian.



**Gambar 1** Lokasi Penelitian di Kali Semarang (Peta RBI Semarang, Lembar 1409 – 222, Edisi 2001)

## DASAR TEORI

Tanah di alam menurut Harry (1998), terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Tanah berasal dari pelapukan batuan yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat fisik tanah kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut. Sondir adalah alat berbentuk silindris dengan ujungnya berupa konus. Dalam uji sondir, stang alat ini ditekan ke dalam tanah dan kemudian memberikan perlawanan tanah terhadap ujung sondir dan gesekan pada selimut silinder diukur.

Metode ini kemudian dikenal dengan berbagai nama seperti :static penetration test atau quassi static penetration test, dutch cone test, dan secara singkat disebut sounding saja yang berarti pendugaan. Di Indonesia kemudian dinamakan sondir yang diambil dari bahasa Belanda.

Uji sondir saat ini merupakan salah satu uji lapangan yang telah diterima oleh praktisi dan pakar geoteknik. Uji sondir ini telah menunjukkan manfaat untuk pendugaan profil atau pelapisan tanah terhadap kedalaman karena jenis perilaku tanah telah dapat diidentifikasi dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung dan gesekan selimutnya. Besaran penting yang diukur pada uji sondir adalah perlawanan ujung yang diambil sebagai gaya penetrasi persatuan luas ujung sondir ( $q_c$ ). Besarnya gaya ini seringkali menunjukkan identifikasi dari jenis tanah dan konsistensinya. Pada tanah pasiran, tahanan ujung lebih besar daripada tanah butiran halus.

Harga perlawanan konus hasil uji penetrasi sondir pada lapisan tanah / batuan dapat dihubungkan secara empiris dengan kekuatannya. Pada tanah berbutir halus (lempung – lanau), dapat ditentukan tingkat kekerasan relatifnya. Sedangkan pada tanah berbutir kasar (pasir – gravel) dapat ditentukan tingkat kepadatan relatifnya.

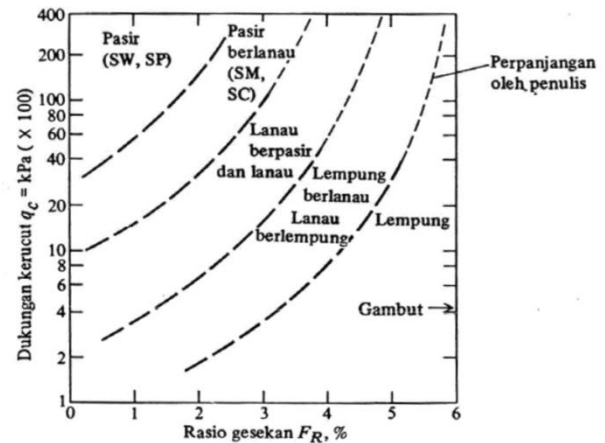
**Tabel 1** Konsistensi tanah lempung berdasarkan hasil sondir (Terzaghi dan Peck, 1984)

Konsistensi	Conus Resistance ( $q_c$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	Friction Ratio (FR) %
Sangat Lunak/ <i>very soft</i>	<5	3.5
Lunak/ <i>Soft</i>	5-10	3.5
Teguh/ <i>Firm</i>	10-35	4.0
Kaku/ <i>stiff</i>	30-60	4.0
Sangat Kaku/ <i>very stiff</i>	60-120	6.0
Keras/ <i>Hard</i>	>120	6.0

Harga perlawanan konus dan friction ratio hasil uji penetrasi sondir dapat dihubungkan secara empiris dengan jenis tanahnya. Pada tanah berbutir semakin halus (lanau-lempung) cenderung memiliki harga perlawanan konus yang kecil tetapi harga friction ratio-

nya besar, pada tanah berbutir kasar (pasir – gravel) harga perlawanan konus besar tetapi sedangkan harga friction ratio-nya kecil.

Untuk mengklasifikasikan tanah ada banyak jenis klasifikasi, salah satunya dari Robertson (1986). Pada klasifikasi ini (gambar 2.5) digunakan dengan cara memplotkan antara nilai  $q_c$  dengan FR. Hasil memplotannya itu menunjukkan jenis tanah pada daerah tersebut. Sebelum memplotkan, nilai  $q_c$  harus diubah terlebih dahulu dari satuan kg/cm<sup>2</sup> ke dalam satuan MPa atau Mega pascal. Untuk nilai 1 kg/cm<sup>2</sup> = 0,0980665 MPa (Robertson, 1990).



**Gambar 2** Grafik hubungan  $q_c$  dan  $F_r$  menurut Robertson dan Campanella (Bowles, 1997)

Dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil, daya dukung tanah mempunyai peranan yang sangat penting. Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila menerima tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan dalam tanah pondasi melampaui kekuatan geser tanah maka akan mengakibatkan keruntuhan geser tanah tersebut.

Daya dukung yang aman terhadap keruntuhan tidak berarti bahwa penurunan pondasi akan berada dalam batas-batas yang diizinkan. Oleh karena itu, analisis penurunan harus dilakukan karena umumnya bangunan peka terhadap penurunan yang berlebihan. Kapasitas nilai daya dukung dari suatu tanah didasarkan pada karakteristik tanah dasar dan dipertimbangkan terhadap kriteria penurunan dan stabilitas yang diisyaratkan, termasuk faktor aman terhadap keruntuhan. Secara umum analisis daya dukung tanah ditentukan dari daya dukung ultimate dibagi faktor aman yang sesuai dan dilakukan dengan cara pendekatan empiris untuk memudahkan perhitungan (Najoan, 2002).

Pondasi pada tanah lempung harus direncanakan pada kondisi terburuk (kuat geser minimum), yaitu pada saat kadar air jenuh. Dasar pondasi sebaiknya direncanakan agak dalam, karena kuat geser tanah lempung dalam keadaan dangkal dapat dipengaruhi oleh

cuaca dan akar tanaman. Pada tanah lempung, lebar pondasi tidak terlalu berpengaruh terhadap daya dukung tanah. Pondasi diletakkan berjauhan antara satu dengan yang lain, agar penyebaran beban pondasi tidak tumpang tindih. Jika sumbu kolom berada pada satu garis, sebaiknya gunakan pondasi rakit atau pondasi memanjang, hal ini dilakukan guna menghindari terjadi penurunan tanah lempung yang relatif lunak. Dalam kondisi yang memerlukan kapasitas dukung yang besar, maka gunakan pondasi tiang.

Penghitungan nilai daya dukung tanah dilakukan dengan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Meyerhoff (dalam Sihotang, 2009) sebagai berikut:

$$Q_{ultimate} = Q_c \times A + TF \times K_t$$

Dimana :

$Q_{ultimate}$  = kapasitas daya dukung tiang pancang

$Q_c$  = tahanan ujung sondir

$A$  = luas penampang tiang

$TF$  = jumlah hambatan lekat sepanjang kulit konus

$K_t$  = keliling tiang

Setelah dilakukan penentuan kapasitas daya dukung batas tanah, dilanjutkan dengan menentukan kapasitas daya dukung yang diijinkan. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah terlampauinya batas beban yang dapat ditahan oleh tanah.

Perhitungannya menggunakan rumus Meyerhoff (dalam Sihotang, 2009) :

$$Q_a = (Q_c \times A) / 3 + (TF \times K_t) / 5$$

Dimana angka 3 dan 5 adalah faktor keamanan

Menurut Dwiyanto (2005), *grouting* adalah penyuntikan bahan semi kental (*slurry material*) ke dalam tanah atau batuan melalui lubang bor dengan tujuan menutup diskonstruksi terbuka, rongga-rongga dan lubang pada lapisan yang dituju untuk meningkatkan kekuatan tanah. Menurut Pramana (2010), *grouting* merupakan pekerjaan memasukan bahan yang masih dalam keadaan cair ke dalam tanah dengan cara tekanan sehingga bahan tersebut akan mengisi retak-retak atau lubang-lubang kemudian setelah beberapa saat bahan itu mengeras dan menjadi satu kesatuan dengan tanah yang ada.

Menurut Warner (2005), *grouting* dapat dibedakan menjadi 6 tipe yaitu seperti yang diuraikan di bawah ini:

#### a. Sementasi Penembusan (*Permeation Grouting*)

*Grouting* penembusan (*permeation grouting*) disebut juga *Grouting* penetrasi (*penetration grouting*), yang meliputi pengisian retakan, rekahan atau kerusakan pada batuan, rongga pada sistem pori-pori tanah serta media porous lainnya. Tujuan *Grouting* penembusan adalah untuk mengisi ruang pori (rongga), tanpa merubah formasi serta konfigurasi maupun volume rongga. *Grouting* jenis ini dapat dilakukan untuk tujuan penguatan formasi, menghentikan aliran air yang melaluinya, maupun kombinasi keduanya.

*Grouting* penembusan dapat meningkatkan kohesi tanah.

#### b. Sementasi Pemadatan (*Compaction Grouting*)

*Grouting* pemadatan dilakukan dengan cara menginjeksi material *grouting* sangat kaku (*stiff*) pada tekanan tinggi ke dalam tanah. *Grouting* pemadatan merupakan mekanisme perbaikan yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah. Karena volume struktur pori tanah berkurang, maka permeabilitasnya juga akan berkurang. Meskipun begitu, *Grouting* pemadatan tidak dapat sepenuhnya mencegah terjadinya rembesan. *Grouting* pemadatan mampu meningkatkan beban tanah untuk mengompakkan atau memadatkannya.

#### c. Sementasi Rekahan (*Fracture Grouting*)

*Grouting* rekahan dilakukan pada rekahan hidrolik yang terdapat pada tanah dengan fluida suspensi, untuk menghasilkan hubungan antar lensa *grouting* dan memberikan penguatan kembali (*reinforcement*). Umumnya sementasi rekahan digunakan pada tanah dengan permeabilitas rendah. Sementasi rekahan dapat dilakukan pada beberapa jenis tanah dan kedalam, terutama sangat baik pada material lempung.

#### d. Sementasi Campuran/ *Jet Mixing/ Jet Grouting*

Sementasi campuran dilakukan dengan cara mengikis tanah menggunakan jet bertekanan tinggi dan injeksi serentak ke dalam tanah yang terganggu dengan jet monitor. *Grouting* tipe ini juga dapat digunakan untuk melakukan penyemenan di sekeliling tiang atau pondasi.

#### e. Sementasi Isi (*Fill Grouting*)

Semua rongga yang dihasilkan secara alami maupun buatan, kadang-kadang membutuhkan suatu pengisian atau penutupan. Pada jaman dahulu, pengisian dilakukan menggunakan peralatan yang sama dengan alat *grouting* tipe lainnya. Saat ini, *grouting* isi dilakukan menggunakan peralatan khusus dengan campuran *concrete* atau mortar.

#### f. Sementasi Vakum (*Vacuum Grouting*)

Umumnya pekerjaan *grouting* dilakukan dengan cara mendorong material *grouting* ke dalam formasi dengan tekanan tinggi. Akan tetapi, pada kondisi tertentu hasilnya tidak memuaskan. Oleh karena itu, vakum digunakan untuk menyedot material *grouting* masuk ke dalam bagian yang mengalami kerusakan. Kerusakan tersebut harus diisolasi dari tekanan barometrik terlebih dahulu, sehingga dengan kondisi yang vakum, material *grouting* akan tersedot dan tertarik ke dalam kerusakan tersebut

## METODOLOGI.

Langkah yang dilakukan untuk mengetahui secara pasti kondisi bawah permukaan lokasi penelitian secara sederhana yaitu melakukan pengambilan data kekerasan tanah melalui uji sondir baik sebelum dilakukan *grouting* ataupun setelah *grouting* dimana dalam pelaksanaan *grouting* kali ini menggunakan komposisi semen, air, dan pasir dengan perbandingan 1:1:1. Jumlah titik pengambilan data sebanyak 11 titik dengan pelaksanaan pengambilan data berjarak 45 hari dari

pelaksanaan *grouting*. Dari 11 titik yang diambil, 3 titik di antaranya diasumsikan sebagai titik pengujian sebelum *grouting* dan 8 titik setelah *grouting*. Dari data masing-masing titik kemudian dilakukan perhitungan nilai kapasitas daya dukung batas tanah dan daya dukung ijin tanah yang nantinya dibandingkan dengan beban bangunan sebenarnya di lapangan.

Perhitungan dan perbandingan kapasitas daya dukung tanah sebelum dan sesudah *grouting* beserta grafik perlawanan konus pada lokasi ini menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* sedangkan untuk pembuatan penampang lapisan tanah berdasarkan konsistensi tanahnya baik sebelum *grouting* maupun sesudahnya menggunakan perangkat lunak *Corel Draw*. Dari perbandingan ini kemudian dapat diketahui apakah perkuatan dengan *grouting* ini telah membuat tanah di lokasi ini mampu menahan beban bangunan beserta pondasinya atau tidak.

### HASIL DAN PEMBAHASAN Geomorfologi Lokasi Penelitian

Geomorfologi lokasi penelitian terbentuk oleh proses eksogenik yaitu proses pelapukan, erosi dan sedimentasi. Proses eksogenik berupa pelapukan cukup mempengaruhi kondisi tanah daerah penelitian. Pelapukan yang ada berlangsung secara rendah sampai sedang. Litologi yang terdapat pada daerah penelitian lempung, lanau, dan batupasir.

Dalam hal ini, kondisi geomorfologi daerah penelitian tidak terlalu mempengaruhi hasil penelitian. Hal ini dikarenakan lokasi penelitian hanya dalam lingkup daerah yang tidak luas, selain itu dalam penelitian tidak melakukan kegiatan pemetaan, hanya menginterpretasi dari kenampakan secara umum di lapangan dan berdasarkan kondisi regional.

Tata guna lahan yang terdapat pada daerah penyelidikan (gambar 4.1) yaitu sebagai infrastruktur yang terdiri dari pemukiman penduduk, tempat ibadah, perkantoran serta infrastruktur umum lainnya seperti jalur rel kereta api, dan jalan raya.



**Gambar 3** Tata guna lahan di sekitar lokasi penelitian

### Gejala-Gejala Geologi

Indikasi imbas dari keberadaan tanah sangat lunak sangat terlihat di lokasi penelitian. Hal ini tidak lepas

dari lokasi penelitian yang berada di wilayah pantai kota Semarang.

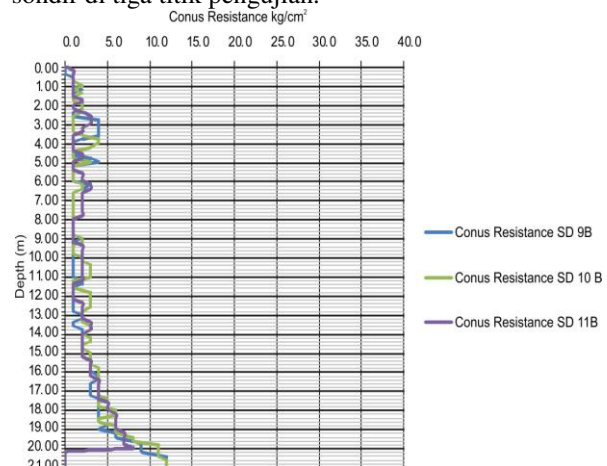


**Gambar 4** Indikasi terjadinya pergeseran pondasi di salah satu *retaining wall*

Dalam gambar terlihat bahwa pada segmen *retaining wall* sebelah kiri (bertanda panah), berkedudukan lebih tinggi daripada segmen *retaining wall* bagian tengah ataupun bagian kanan.

### Kondisi Tanah Sebelum *Grouting*

Kondisi bawah permukaan lokasi penelitian sebelum dilakukan *grouting* dapat dijelaskan melalui hasil uji sondir di tiga titik pengujian.



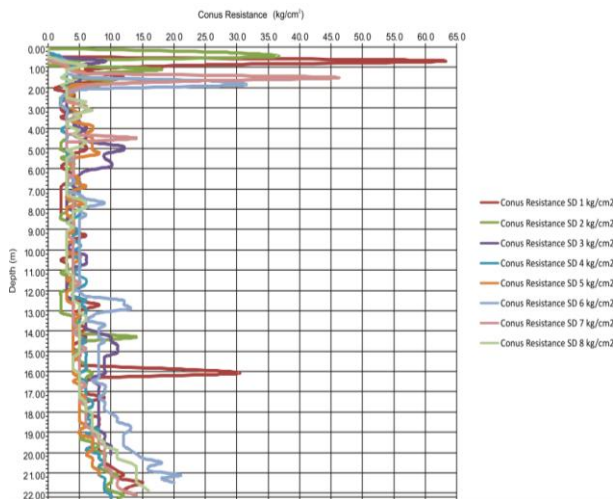
**Gambar 5.** Grafik perlawanan konus dari tiga titik pengujian

Dari tiga titik yang diambil, yaitu SD 9B, SD 10B dan SD 11B, dua titik pertama merupakan titik acak yang berada di luar area proses *grouting* dengan jarak tertentu yang kemudian bisa untuk mewakili kondisi tanah lokasi bangunan *Gate House* sebelum di-*grouting* sedangkan satu titik terakhir, SD 11 B adalah titik yang berada di area *grouting*.

Dari ketiga data perlawanan konus ini kemudian diambil rata-rata untuk tiap kedalamannya. Dalam hal ini didapati nilai konsistensi tanah secara umum sebelum proses *grouting* yaitu mulai dari kedalaman 0 meter sampai 17,8 meter merupakan tanah lempung sangat lunak, lalu 18,00 meter sampai 19,80 meter akan dijumpai lapisan tanah lunak dan untuk tanah dengan konsistensi teguh didapat mulai kedalaman 20 meter.

### Kondisi Tanah Setelah Grouting

Pada hasil sondir sebelum di-grouting memiliki jenis tanah berupa lempung ketika diinterpretasikan jenis tanahnya dengan memplotkan nilai qc dan FR pada grafik klasifikasi tanah dari Robertson (1986). Pasir dan semen yang digunakan untuk melakukan grouting hanya sebagian materialnya yang berukuran lempung dan sedikit mengandung mineral lempung, sehingga akan mempengaruhi nilai FR dan qc ketika dilakukan interpretasi pembacaan hasil sondir. Berikut hasil sondir setelah dilakukan grouting :



**Gambar 6.** Grafik perlawanan konus setelah grouting

Setelah dilakukan grouting, tanah dengan konsistensi lunak berada mulai dari kedalaman 12,60 meter dengan nilai *conus resistance* 5-9 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini dijumpai pada titik pengujian sondir SD 3 dan SD 4. Pada titik pengujian yang lain, mulai dari SD 1, SD 2, SD 5, SD 6, SD 7 dan SD 8, dijumpai secara berturut-turut kondisi tanah dengan konsistensi tergolong lunak pada kedalaman 15 meter, 15,40 meter, 16,60 meter, 7,2 meter, 14,2 meter dan 16,00 meter.

Dari hasil pengujian beberapa sampel ini, diketahui bahwa setelah dilakukan grouting, kedalaman tanah dengan konsistensi lunak semakin kecil. Tanah lunak sudah bisa ditemukan mulai dari kedalaman berkisar 12 meter.

#### 1.1 Perbandingan Daya Dukung Tanah

Luas area bangunan Gate House dalam proyek grouting at Semarang pumping station and retarding pond sebesar 22.9 m x 35.379 m atau seluas 810.2 m<sup>2</sup>. Jumlah beban bangunan seberat 380 ton dengan uraian beban dari pile sepanjang 12 m sebanyak 82 buah seberat 225,5 ton, beban beton (bangunan atas) seberat 105 ton dan beban instalasi pompa seberat 49.5 ton. Sehingga setiap pile menanggung beban seberat 4.75 ton. Daya dukung tiang kemudian dihitung dengan menganggap bahwa perlawanan pada ujung tiang serta gaya pelekak antara tiang dengan tanah akan sama seperti nilai yang diukur dengan alat sondir.

Perhitungan dilakukan pada tiap kedalaman baik sebelum dilakukan atau setelah grouting. Dari hasil perhitungan daya dukung tanah tersebut, dilakukan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah dilakukan grouting. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar bisa memperoleh perbandingan peningkatan daya dukung tanahnya. Perbandingan nilai daya dukung tanah dilakukan pada kedalaman 12 meter sesuai dengan panjang pile yang direncanakan.

Pada hasil sondir sebelum grouting diperoleh hasil daya dukung tanah rata-rata hanya 3,97 ton atau mempunyai selisih dengan beban yang ditanggung pile sebesar 0,78 ton atau 780 kg. Sedangkan pada hasil penghitungan daya dukung tanah setelah proses grouting didapat nilai rata-rata daya dukung izin tanah 7,8625 ton.

Resume nilai daya dukung izin tanah dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 2** Nilai Qall Sebelum Grouting

	Kedalaman ( Depth )	qc	TF	Daya dukung izin tanah (ton)
SD 9B	12,0 m	1,0	356	4,579
SD 10B	12,0 m	3,0	332	4,487
SD 11B	12,0 m	1,0	220	2,87

**Tabel 3** Nilai Qall Setelah Grouting

	Kedalaman ( Depth )	qc	TF	Daya dukung izin tanah (ton)
SD 1	12,0 m	3	726	9,439
SD 2	12,0 m	2	502	6,519
SD 3	12,0 m	3	512	6,749
SD 4	12,0 m	4	414	5,622
SD 5	12,0 m	3	570	7,478
SD 6	12,0 m	5	772	10,227
SD 7	12,0 m	4	710	9,343
SD 8	12,0 m	4	562.0	7,483

Dari hasil ini jika dilakukan perbandingan maka kenaikan daya dukung tanah pada lokasi ini akibat grouting sebesar 98 % atau 1,9 kali dari kemampuan awal sebelum grouting.

### KESIMPULAN

1. Dari ke 3 titik sondir sebelum grouting yang dilakukan pada kedalaman 0,6 sampai kisaran kedalaman 15,00 m terdapat lempung sangat lunak dengan nilai tahanan konus (qc) 1 – 4 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk kedalaman 14,00 m – 20,00 m terdapat lempung lunak dengan nilai tahanan konus (qc) 5 – 8 kg/cm<sup>2</sup>.
2. Rata-rata nilai daya dukung batas tanah sebelum dilakukan grouting sebesar 19,545 ton dengan daya dukung izin rata-rata 3,97 ton.

3. Rata-rata nilai daya dukung batas tanah setelah dilakukan *grouting* sebesar 38,557 ton dengan daya dukung ijin rata-rata 7,8625 ton.
4. Kenaikan daya dukung tanah pada lokasi penelitian akibat *grouting* sebesar 98 % atau 1,9 kali dari kemampuan awal sebelum *grouting*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2001. *Peta RBI (Rupa Bumi Indonesia) Semarang Lembar 1409-222 Edisi 2001 Skala 1 : 25.000*. Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, Bandung.
- Barentsen, P. 1936. Short description of field testing method with cone shaped sounding apparatus. *In Proceedings 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Cambridge, Mass, 1, B/3: 6-10.
- BPN Semarang, 2009, *Gambaran Umum Kota Semarang*, URL <http://www.bpn-semarang.net>.
- Bowles, J.E. dan Hainim, J.K. 1991. *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Dwiyanto, J.S. 2005. *Handout Geoteknik D4 Sungai dan Pantai*. Departemen Pekerjaan Umum. Badan Pembinaan Konstruksi dan Sumber Daya Manusia Pusat Pembinaan Keahlian dan Teknik Konstruksi, Bandung.
- Hardiyatmo, Hary. 1998. *Teknik Pondasi I*. (<http://artikelsipil.blogspot.com/2011/fondasi-pada-tanah-lempung.htm>)
- Hudoro, Humaryono. 2001. *Survey Geoteknik, Bagian dari KL- 241 dan 242 Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. ITB, Bandung.
- Najoan. 2002. *Interpretasi Hasil Uji dan Penyusunan Laporan Penyelidikan Geoteknik*. Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum.
- PT. Selimut Bumi Adhi Cipta. 2011. *Soft Soil Improvement by Grouting at Package C – 1 Pumping Station and Retarding Pond.*: PT. Selimut Bumi Adhi Cipta.
- Robertson, P.K., 1990. *Soil classification using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical Journal, 27(1): 151-158.
- SNI 2827. 2008. *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir*. Indonesia : Penerbit Badan Standart Nasional.
- Sihotang, Sulastri. 2009. *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Kanwil DJP dan KPP Sumbagut 1 Jalan Suka Mulia Medan (Tugas Akhir)*. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Medan
- Soedibyo. 1993. *Teknik bendungan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suprayitno, Untung. 2011. *Penentuan daya dukung pondasi dari hasil sondir (CPT)*. Sumber: <http://untungsuprayitno.wordpress.com/2011/05/19/penentuan-daya-dukung-pondasi-dari-hasil-sondir/> 9 April 2013/11.00 WIB.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kazuto Nakazawa. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B Peek. 1993. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Thanden R.E, H.Sumadirdja, P.W. Richards, K. Sutisna, dan T.C. Amin. 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang Skala 1 : 100.000*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Warner, J .2005. *Practical Handbook of Grouting Soil, Rock and Structures*. Mariposa. California.
- Wesley, L.D. 1977. *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.