

METODE *GROUTING* UNTUK MENINGKATKAN DAYA DUKUNG TANAH DI BANGUNAN STASIUN POMPA DRAINASE SIBULANAN, PEKALONGAN, JAWA TENGAH

Oleh : Surya Murdani

ABSTRACT

Sibulan drainage pump station located on Slamaran beach recreation area, have an excessive settlement due to a lack of soil bearing capacity on the study site. Soil material in study site is transported soil, with a fine sandy clay silt lithology. The type of soil that is a young alluvium sediments which have not been consolidated resulted a low bearing capacity in study site, drives an excessive settlement. In this study, sounding is used to gather the data. Determination of soil types and soil consistency use f_r and q_c relationship from Bowles, 1997 and classification of soil consistency from Terzaghi and Peck, 1984. Soil bearing capacity calculations using the bearing capacity of pile foundation formulas from Wesley, 1977. Based on field observations in study site, low bearing capacity of the soil caused by transported soil and influence of tides. While based on sondir data analysis, the study found, type of soil in study site form of clay until silty clay with q_c values = 1.17 to 1.96 mpa and soil consistency is very soft until firm with q_c values = 2.00 to 20.00 kg/cm² in depth of 23 meters. Soil bearing capacity at depth of 12 meter is only 3.8 tons. Grouting that was carried out by 52 points aimed to improving soil consistency and soil bearing capacity in study site until greater than 4.8 tons at depth 12 meters. Once grouting done, soil consistency of the study site turns into very soft until very stiff with q_c values = 2.00 to 90.00 kg/cm² at depth 8.20 meters. Soil bearing capacity at depth 12 meters turns into 39.75 tons. Grouting methods in this study has been successfully increasing soil bearing capacity at depth 12 meters to be greater than 4.8 tons, making soil bearing capacity in the study to be secure.

Keywords: settlement, sounding, grouting, soil bearing capacity

I. Pendahuluan

Kota Pekalongan secara geografis berada pada 6° 50' 42" - 6° 55' 44" Lintang selatan dan 109° 37' 55" - 109° 42' 19" Bujur timur. Batas-batas administratif Pekalongan adalah sebelah utara Laut Jawa, sebelah barat Kabupaten Pekalongan, sebelah selatan Kabupaten Pekalongan, dan sebelah timur Kabupaten Batang. Kota Pekalongan mempunyai luas wilayah ± 45,25 km², secara administratif terdiri dari 4 kecamatan dan 46 kelurahan. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan (1996), Kota Pekalongan bagian Utara merupakan Aluvium yang berumur Holosen dengan litologi penyusun sebagai berikut : kerikil, pasir, lanau dan lempung, endapan sungai, rawa dan pantai dengan ketebalan hingga 150 m.

Stasiun pompa drainase Sibulan, yang terletak di area rekreasi Pantai Slamaran, Kelurahan Krapyak Lor Kecamatan Pekalongan

Utara, Kota Pekalongan, Jawa Tengah berfungsi untuk mengendalikan dan menanggulangi rob yang sering terjadi pada kawasan tersebut. Terjadinya penurunan pondasi pada lokasi stasiun pompa drainase tersebut mengakibatkan tidak berfungsinya pompa dengan sebagai fungsinya. Oleh karena itu diperlukan adanya usaha penyelidikan dan penanggulangan penurunan pondasi pada stasiun pompa tersebut dengan metode yang tepat dan efisien yaitu metode *grouting*.

Untuk melakukan penyelidikan tanah ada beberapa cara yang dapat dilakukan, salah satunya yaitu *Cone Penetration Test* (CPT). Nilai-nilai yang didapatkan dari hasil pengujian CPT digunakan untuk menentukan jenis tanah yang ada di bawah permukaan serta untuk mengetahui daya dukung tanah di lokasi stasiun pompa drainase Sibulan tersebut.

Setelah diketahui daya dukung tanah di lokasi penelitian memiliki nilai yang rendah

maka diperlukan adanya peningkatan daya dukung tanah. *Grouting* merupakan metode yang tepat untuk digunakan karena tingkat efisiensinya.

II. Tinjauan Lokasi Penelitian

Secara administratif, lokasi penelitian berada pada Pantai Slamaran, Kelurahan Krapyak Lor, Kecamatan Pekalongan Utara, Kota Pekalongan, Jawa Tengah, memiliki letak geografis 6° 51' 38,5" Lintang selatan dan 109° 41' 48,7" Bujur timur. Batas administratif lokasi penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Batas utara : Laut Jawa
- Batas selatan : Kelurahan Krapyak Kidul
- Batas barat : Sungai Pekalongan
- Batas timur : Kelurahan Degayu

Lokasi penelitian yang berada pada area rekreasi Pantai Slamaran, memiliki jarak tempuh ± 30 menit dari pusat Kota Pekalongan dengan menggunakan kendaraan bermotor.

III. Pemboran Mesin

Pemboran mesin adalah metode pemboran dengan menggunakan motor sebagai tenaga penggerak. Motor penggerak alat bor pada umumnya terdiri dari bagian berikut ini (Sosrodarsono, 1981):

- Alat yang dapat memutar stang-stang bor dengan kecepatan yang bias diatur dan dapat memberikan gaya kebawah.
- Pompa untuk memancarkan air pencuci (wash water) kebawah, melalui bagian daam stang br.
- Roda pemutar (winches) dan derrick atau tripod untuk menaikan dan menurunkan stang-stang dan alat-alat bor ke dalam lubang.

Dalam pemboran mesin, macam alat yang dipergunakan disesuaikan dengan macam tanah dan maksud pembuatan lubang bor tersebut.

1. Pemboran dengan air (wash boring)

Dalam material lunak atau lepas, terkadang dilakukan wash boring. Dalam ha ini, air dipompakan kebawah melalui stang bor kealat pemotong (cutting tools) atu pahat pemotong (cutting bit), dan air pemboran ini akan mengangkut potongan-potongan

tersebut kembali ke permukaan. Bahan-bahan cutting yang didapatkan ini bercampur dengan air, dan hal ini tidak memungkinkan kita untuk mendapatkan keterangan-keterangan yang dapat dipercaya tentang keadaan asli dari material tersebut di dalam tanah. Oleh karena itu, wash boring tidak dianjurkan manakala kita membutuhkan catatan-catatan yang tepat mengenai bahan-bahan yang dibor tersebut.

IV. Sondir

Sondir adalah alat berbentuk silinder dengan ujung berupa konus. Dalam uji sondir, stang alat ini ditekan ke dalam tanah sehingga kemudian akan memberikan nilai terukur dari perlawanan tanah terhadap ujung sondir dan gesekan pada silimut silinder. Besaran penting yang diukur pada uji sondir adalah perlawanan ujung yang diambil sebagai gaya penetrasi persatuan luas ujung sondir (qc). Besarnya gaya ini seringkali menunjukkan identifikasi dari jenis tanah dan konsistensinya. Pada tanah pasiran, tahanan ujung lebih besar daripada tanah butiran halus.

V. Hubungan Empiris Kekuatan Tanah Berdasarkan Uji Sondir

Harga perlawanan konus hasil uji penetrasi sondir pada lapisan tanah atau batuan dapat dihubungkan secara empiris dengan kekuatannya. Pada tanah berbutir halus (lempung – lanau), dapat ditentukan tingkat kekerasan relatifnya (tabel 1).

Tabel 1. Konsistensi tanah lempung berdasarkan hasil sondir
(Terzaghi Dan Peck, 1984)

Konsistensi	Conus Resistance (qc) Kg/cm ²	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

VI. Sementasi Penembusan (*Permeation Grouting*)

Menurut Warner (2005), *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.

VII. Metodologi Penelitian

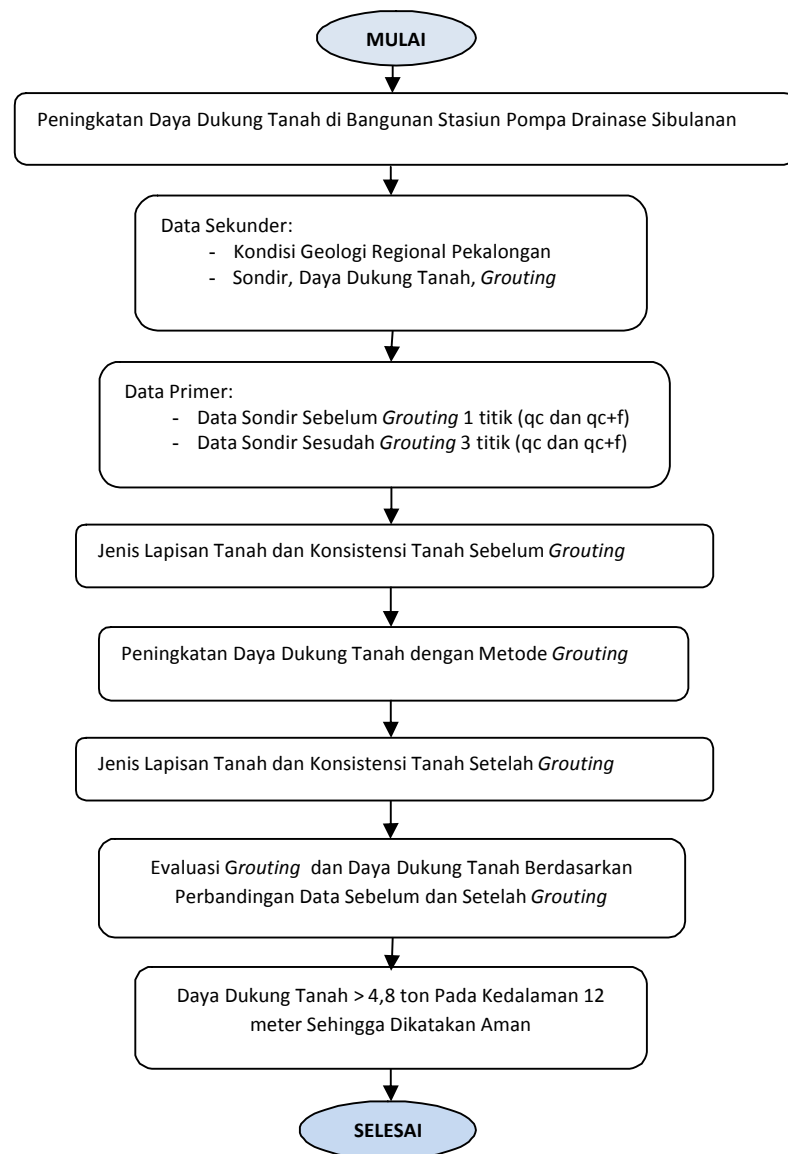
Dalam peningkatan daya dukung tanah di stasiun pompa drainase Sibulanan, Slamaran Utara, Pekalongan ini dilakukan pembahasan mengenai kondisi tanah dan nilai daya dukung tanah. Awal penyelidikan yang dilakukan adalah dengan cara studi pustaka, yaitu mengumpulkan data mengenai kondisi geologi regional daerah penelitian, mengumpulkan teori-teori pendukung penelitian meliputi, sondir, grouting, dan daya dukung tanah. Kemudian dilakukan observasi lapangan untuk meninjau langsung, mencatat keadaan umum yang ada, mengukur, serta melakukan deskripsi singkat terhadap kondisi lokasi penelitian.

Tanah di lokasi penelitian merupakan tanah terangkut (transported soil) yang didominasi dengan jenis tanah berupa lanau. Tanah jenis lanau memiliki konsistensi yang kecil sehingga dapat dipastikan daya dukung tanah yang dimiliki juga kecil. Untuk meningkatkan daya dukung tanah tersebut maka perlu dilakukan grouting. Sebelum dilaksanakan grouting, dilakukan observasi bawah permukaan berupa pengujian sondir (SD1) sehingga diketahui nilai daya dukung yang dimiliki oleh tanah. Setelah dilakukan grouting juga dilakukan pengujian sondir kembali untuk mengetahui peningkatan daya dukung tanah yang terjadi (SD2, SD3, SD4).

Data yang didapat adalah dengan melaksanakan penyondiran 4 titik pada lokasi penelitian. Data yang diperoleh berupa nilai perlawanan konus (qc), hambatan lekat (HL), rasio friksi (fr), dan friksi total/jumlah hambatan lekat (Tf). Dari data sondir yang diperoleh dan diolah maka dapat digunakan untuk melakukan

perhitungan terhadap daya dukung tanah yang terdapat di drainase sibulanan di pantai Slamaran Utara, Pekalongan. Data berupa nilai perlawanan konus (qc) dapat digunakan untuk memperoleh data daya dukung ultimit (qult) dan daya dukung ijin (qall) yang kemudian dari perbandingan antara qall sebelum dan qall setelah grouting dapat dievaluasi hasil dari metoda grouting tersebut.

VIII. Diagram Alir Penelitian



IX. Hasil dan Pembahasan

1. Kondisi Tanah Sebelum Grouting

Pengujian Sondir dilakukan untuk mengetahui nilai perlawanan tanah yang dilakukan dengan cara menusukkan bikonus/konus ke dalam tanah. Dari gesekan dan tekanan bikonus yang terjadi di dalam tanah dihantarkan melalui stang sondir bagian dalam yang kemudian dibaca pada manometer. Dari data yang diperoleh kemudian diubah menjadi bentuk grafik nilai perlawanan tanah dan hambatan konus. Dengan adanya grafik sondir tersebut maka dapat diketahui kondisi dan kedalaman tanah secara terukur.

• Sondir 1 (SD1)

Berdasarkan data hasil uji sondir SD1 dan plotting pada grafik hubungan antara conus resistance (q_c) dan friction ratio (fr) Robertson dan Campanella (1983) pada beberapa jenis tanah, kutipan Bowles (1997) maka akan didapat gambaran secara tidak langsung mengenai jenis lapisan tanah pada titik SD1. Sehingga pada titik SD1 dapat dibedakan menjadi dua jenis lapisan tanah (tabel 2) yaitu tanah lempung yang berada pada kedalaman 0,00 hingga kedalaman 4,60 meter, tanah lempung kelanauan yang berada pada kedalaman 4,60 hingga kedalaman 7,60 meter, dan tanah lempung pada kedalaman 7,60 hingga kedalaman 23,00 meter.

Dengan menggunakan tabel konsistensi tanah Terzaghi dan Peck (1984), maka pada titik SD1 dapat digolongkan menjadi tiga jenis konsistensi tanah (tabel 3) yaitu tanah sangat lunak pada kedalaman 0,00 hingga kedalaman 4,40 meter dengan conus resistance sebesar 2,00 hingga 4,00 kg/cm^2 , tanah teguh pada kedalaman 4,40 hingga kedalaman 7,60 meter dengan nilai conus resistance sebesar 10,00 hingga 18,00 kg/cm^2 , tanah lunak pada kedalaman 7,60 hingga kedalaman 16,60 meter dengan nilai conus resistance sebesar 5,00 hingga 10,00 kg/cm^2 , tanah teguh pada kedalaman 16,60 hingga kedalaman 23,00 meter dengan nilai conus resistance sebesar 10,00 hingga 20,00 kg/cm^2 .

Tabel 2. Perlawanan Konus dan Jenis Lapisan Tanah Sebelum Grouting

Titik Sondir	Lapisan	Kedalaman (m)	Conus Resistance (Mpa)	Jenis Lapisan Tanah (Bowles, 1997)
SD1	1	0,00 - 4,60	0 - 1,17	Lempung
	2	4,60 - 7,60	0,98 - 1,76	Lempung kelanauan
	3	7,60 - 23,00	0,49 - 1,96	Lempung

Tabel 3. Perlawanan Konus dan Konsistensi Tanah Sebelum Grouting

Titik Sondir	Lapisan	Kedalaman (m)	Conus Resistance (kg/cm^2)	Konsistensi Tanah (Terzaghi dan Peck, 1984)
SD1	1	0,00 - 4,40	2,00 - 10,00	Sangat Lunak
	3	4,40 - 7,60	12,00 - 18,00	Teguh
	4	7,60 - 16,60	5,00 - 10,00	Lunak
	5	16,60 - 23,00	10,00 - 20,00	Teguh

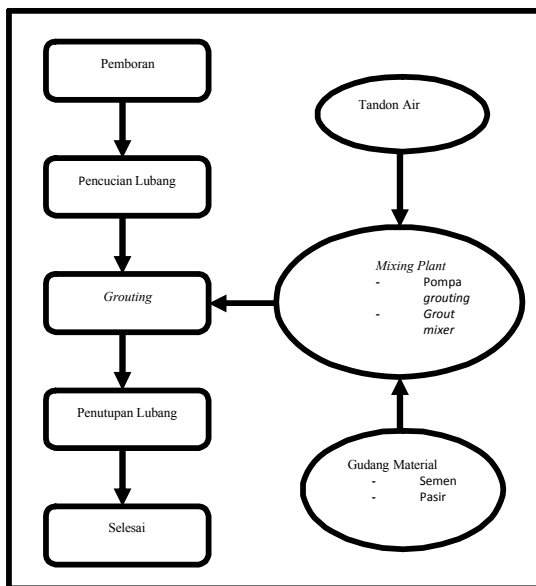
2. Pelaksanaan Grouting

Peningkatan daya dukung tanah untuk penanggulangan penurunan pondasi pada lokasi penelitian, menggunakan metode grouting dengan jenis *permeation grouting* atau disebut juga sementasi penembusan. Grouting penembusan merupakan mekanisme perbaikan tanah atau batuan yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah. Dengan berkurangnya struktur pori tanah, maka permeabilitas tanah juga akan menjadi berkurang, sehingga grouting jenis ini tidak dapat tidak dapat sepenuhnya mencegah terjadinya rembesan, akan tetapi mampu meningkatkan beban tanah dan mengompakan atau memadatkan serta meningkatkan kohesi tanah. Grouting akan mempengaruhi sifat tanah, karena suspensi grouting tersebut tersusun atas campuran semen, air dan pasir dengan ukuran butir kurang dari 0,2 mm.

Dengan mempertimbangkan hasil dari uji sondir SD1 dimana diketahui lapisan lempung pada lokasi penelitian dapat dikatakan menghampar secara merata dan telah ditemui adanya lapisan tanah dengan konsistensi teguh pada kedalaman 15 meter tersebut. Maka pada

pekerjaan ini dilakukan *grouting* sebanyak 52 titik, dan kedalaman untuk setiap titiknya adalah 15 meter, dengan jarak antar titik sejauh 3 meter. Komposisi suspensi yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas campuran air, semen, pasir yang memiliki perbandingan 1 : 1 : 1, yaitu air sebanyak 80 kg dicampur dengan semen sebanyak 80 kg dan pasir sebanyak 80 kg yang kemudian ditambahkan bahan katalis secukupnya untuk setiap meternya hingga kedalaman 15 meter. Material tersebut kemudian dicampurkan kedalam drum berkapasitas 345,6 liter. Sehingga jumlah total campuran material suspensi *grouting* yang diinjeksikan untuk setiap titiknya adalah air sebanyak 1200 kg, semen sebanyak 1200 kg dan pasir sebanyak 1200 kg atau sebanyak 5181,9 liter.

Penentuan tekanan *grouting* pada penelitian ini didasari oleh faktor litologi penyusun lokasi tersebut, yang didominasi oleh lempung lunak. Oleh karena itu cukup dengan tekanan normal, hingga sebesar 1 kg/cm² material suspensi telah dapat menembus lapisan tanah yang diinginkan. Sedangkan jika material suspensi diinjeksikan dengan tekanan yang terlalu besar maka akan dapat merusak struktur tanah bawah permukaannya



Gambar 1. Diagram Pelaksanaan Grouting

3. Kondisi Tanah Setelah *Grouting*

Setelah pekerjaan *grouting* selesai, maka dilakukan kembali pengujian sondir sebanyak tiga titik, untuk mengetahui jenis dan konsistensi tanah sehingga didapat nilai *conus resistance* (*qc*) dan *friction ratio* (*fr*) terukur dari lokasi penelitian setelah yang berumur 24 hari, 37 hari, dan 40 hari. Berikut ini adalah hasil uji sondir setelah dilakukan *grouting* :

- Sondir 2 Umur 24 hari (SD2)

Berdasarkan data hasil uji sondir SD2 dan *plotting* pada grafik hubungan antara *conus resistance* (*qc*) dan *friction ratio* (*fr*) Robertson dan Campanella (1983) pada beberapa jenis tanah, kutipan Bowles (1997) maka akan didapat gambaran secara tidak langsung mengenai jenis lapisan tanah pada titik SD2. Sehingga pada titik SD2 dapat dibedakan menjadi dua jenis lapisan tanah (tabel 4) yaitu tanah lempung yang berada pada kedalaman 0,00 hingga kedalaman 2,00 meter, tanah lempung kelanauan yang berada pada kedalaman 2,00 hingga kedalaman 4,20 meter, dan tanah lempung pada kedalaman 4,20 hingga kedalaman 12,00 meter.

Dengan menggunakan tabel konsistensi tanah Terzaghi dan Peck (1984), maka pada titik SD2 dapat digolongkan menjadi lima jenis konsistensi (tabel 5) tanah yaitu tanah sangat lunak pada kedalaman 0,00 hingga kedalaman 0,40 meter dengan *conus resistance* sebesar 0,00 hingga 12,00 kg/cm², tanah lunak pada kedalaman 0,40 hingga kedalaman 2,00 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 5,00 hingga 12,00 kg/cm², tanah teguh pada kedalaman 2,00 hingga kedalaman 9,00 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 10,00 hingga 30,00 kg/cm², tanah kaku pada kedalaman 9,00 hingga kedalaman 10,20 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 42,00 hingga 50,00 kg/cm², tanah sangat kaku pada kedalaman 10,20 hingga kedalaman 12,00 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 70,00 hingga 100,00 kg/cm².

- Sondir 3 Umur 37 Hari (SD3)

Berdasarkan data hasil uji sondir SD3 dan *plotting* pada grafik hubungan antara *conus resistance* (*qc*) dan *friction ratio* (*fr*) Robertson dan Campanella (1983) pada beberapa jenis tanah, kutipan Bowles (1997) maka akan didapat gambaran secara tidak langsung mengenai jenis lapisan tanah pada titik SD3. Sehingga pada titik SD3 dapat dibedakan menjadi satu jenis lapisan tanah (tabel 4) yaitu tanah lempung yang berada pada kedalaman 0,00 hingga kedalaman 9,80 meter.

Dengan menggunakan tabel konsistensi tanah Terzaghi dan Peck (1984), maka pada titik SD3 dapat digolongkan menjadi lima jenis (tabel 5) konsistensi tanah yaitu tanah sangat lunak pada kedalaman 0,00 hingga kedalaman 0,60 meter dengan *conus resistance* sebesar 0,00 hingga 3,00 kg/cm², tanah lunak pada kedalaman 0,60 hingga kedalaman 3,20 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 6,00 hingga 10,00 kg/cm², tanah teguh pada kedalaman 3,20 hingga kedalaman 7,40 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 10,00 hingga 34,00 kg/cm², tanah kaku pada kedalaman 7,40 hingga kedalaman 8,60 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 40,00 hingga 60,00 kg/cm², tanah sangat kaku pada kedalaman 8,60 hingga kedalaman 9,80 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 70,00 hingga 100,00 kg/cm².

- Sondir 4 Umur 40 Hari (SD4)

Berdasarkan data hasil uji sondir SD4 dan *plotting* pada grafik hubungan antara *conus resistance* (*qc*) dan *friction ratio* (*fr*) Robertson dan Campanella (1983) pada beberapa jenis tanah, kutipan Bowles (1997) maka akan didapat gambaran secara tidak langsung mengenai jenis lapisan tanah pada titik SD4. Sehingga pada titik SD4 dapat dibedakan menjadi satu jenis lapisan tanah (tabel 4) yaitu tanah lempung yang berada pada kedalaman 0,00 hingga kedalaman 8,20 meter.

Dengan menggunakan tabel konsistensi tanah Terzaghi dan Peck (1984), maka pada

titik SD4 dapat digolongkan menjadi lima jenis konsistensi tanah (tabel 5) yaitu tanah sangat lunak pada kedalaman 0,20 hingga kedalaman 1,00 meter dengan *conus resistance* sebesar 2,00 hingga 4,00 kg/cm², tanah lunak pada kedalaman 1,00 hingga kedalaman 1,80 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 6,00 hingga 10,00 kg/cm², tanah teguh pada kedalaman 1,80 hingga kedalaman 7,00 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 8,00 hingga 35,00 kg/cm², tanah kaku pada kedalaman 7,00 hingga kedalaman 7,80 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 40,00 hingga 60,00 kg/cm², tanah sangat kaku pada kedalaman 7,80 hingga kedalaman 8,20 meter dengan nilai *conus resistance* sebesar 70,00 hingga 100,00 kg/cm².

Tabel 4. Perlawanan Konus dan Jenis Lapisan Tanah Setelah *Grouting*

Titik Sondir	Lapisan Tanah	Kedalaman (m)	Conus Resistance (Mpa)	Jenis Lapisan Tanah (Bowles, 1997)
SD2	1	0,00 – 2,00	0,29 - 1,17	Lempung
	2	2,00 - 4,20	1,17 - 2,45	Lempung kelanauan
	3	4,20 – 12,00	0,98 - 9,80	Lempung
SD3	1	0,00 - 9,80	0,00 - 9,80	Lempung
SD4	1	0,00 - 8,20	0,00 – 8,82	Lempung

Tabel 5. Perlawanan Konus dan Konsistensi Tanah Setelah *Grouting*

Titik Sondir	Lapisan	Kedalaman (m)	Conus Resistance (kg/cm ²)	Konsistensi Tanah (Terzaghi dan Peck, 1984)
SD2	1	0.00 - 0,40	0,00 – 12,00	Sangat Lunak
	2	0,40 – 2.00	5,00 – 12,00	Lunak
	3	2,00 – 9,00	10,00 – 30,00	Teguh
	4	9,00 - 10,20	42,00 – 50,00	Kaku
	5	10,20 – 12,00	70,00 – 100,00	Sangat Kaku
SD3	1	0,00 - 0,60	0,00 – 3,00	Sangat Lunak
	2	0,60 - 3,20	6,00 -10,00	Lunak
	3	3,20 - 7,40	10,00 – 34,00	Teguh
	4	7,40 - 8,60	40,00 – 60,00	Kaku
	5	8,60 – 9,80	70,00 – 100,00	Sangat Kaku
SD4	1	0,20-1,00	2,00 – 4,00	Sangat Lunak
	2	1,00 – 1,80	6,00 – 10,00	Lunak
	3	1,80 – 7,00	8,00 – 35,00	Teguh
	4	7,00 – 7,80	40,00 – 60,00	Kaku
	5	7,80 – 8,20	80,00 – 90,00	Sangat Kaku

4. Pengaruh Grouting Terhadap Sifat Tanah

- Konsistensi Tanah

Pengaruh grouting terhadap konsistensi tanah pada lokasi penelitian ditunjukkan dengan meningkatnya nilai *conus resistance* (q_c) sebelum dilakukan grouting dengan setelah dilakukan grouting. Hal tersebut disebabkan oleh karena campuran material grouting yang diinjeksikan dapat menembus dan mengisi rongga-rongga atau pori-pori lapisan tanah sehingga menjadi lebih kompak dan padat yang kemudian membuat lapisan tanah tersebut menjadi lebih keras dari sebelumnya. Sehingga lapisan tanah yang sebelumnya memiliki konsistensi yang lunak dapat menjadi teguh, begitu juga seterusnya.

- Jenis Lapisan Tanah

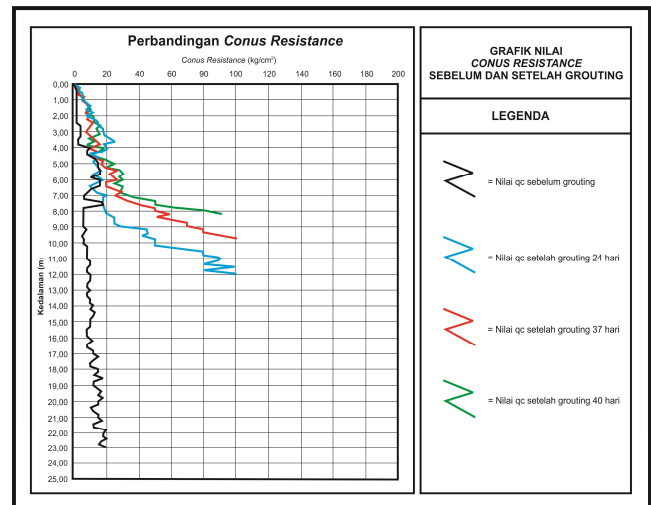
Sedangkan pengaruh grouting terhadap jenis lapisan tanah pada lokasi penelitian ditunjukkan dengan meningkatnya nilai *friction ratio* (f_r) sebelum dilakukan grouting dengan setelah dilakukan grouting. Hal tersebut disebabkan oleh karena campuran material grouting yang diinjeksikan memiliki sifat adhesive dan kohesif tinggi, maka cairan grouting tersebut dapat mengeras dan meningkatkan ikatan partikel antar butir lapisan tanah menjadi lebih kuat sehingga membuat nilai *friction ratio* (f_r) lapisan tanah tersebut meningkat. Sehingga dapat diketahui dengan klasifikasi jenis lapisan tanah menggunakan grafik Bowles (1997), meskipun nilai q_c meningkat dengan signifikan akan tetapi hal ini diikuti dengan peningkatan f_r yang berbanding lurus, sehingga jenis lapisan tanah pada lokasi penelitian ini masih dapat diklasifikasikan kedalam jenis lapisan tanah lempung.

- Evaluasi Kualitas Grouting Dengan Hasil Sondir

Dampak yang dihasilkan oleh pekerjaan grouting pada lokasi penelitian terlihat dari hasil pengujian sondir yang dilakukan sebelum dan sesudah grouting dan kemudian diklasifikasikan serta dilakukan perhitungan nilai daya dukung tanah.

- Perubahan Nilai *Conus Resistance* (q_c)

Berdasarkan nilai *conus resistance* yang dilakukan data pengujian sondir sebelum dan setelah dilakukan grouting (gambar 2) menunjukkan pada kedalaman 8 meter, pada titik SD1 tanah memiliki konsistensi lunak dengan nilai *conus resistance* 6,00 kg/cm². pada titik SD2 tanah memiliki konsistensi teguh dengan nilai *conus resistance* 20,00 kg/cm², pada titik SD3 tanah memiliki konsistensi kaku dengan nilai *conus resistance* 50,00 kg/cm², sedangkan pada titik SD4 tanah memiliki konsistensi sangat kaku dengan nilai *conus resistance* 80,00 kg/cm².



Gambar 2. Grafik Nilai *Conus Resistance* Sebelum Dan Setelah Grouting

- Efektifitas Grouting

Berdasarkan tabel perbandingan *conus resistance* pada SD1 dan SD4 (lampiran 3) dapat dihitung nilai efektifitas grouting pada pekerjaan ini yaitu dengan membandingkan nilai q_c pada kedalaman 2 meter antara sebelum grouting sebesar 2 kg/cm² dengan setelah grouting sebesar 12 kg/cm², yaitu terjadi peningkatan q_c sebesar 10 kg/cm². Sehingga didapati nilai efektifitas grouting sebesar 500%.

- Kualitas Grouting Berdasarkan Fungsi Waktu

Berdasarkan tabel perbandingan q_c pada SD2, SD3 dan SD4 (tabel 6), dapat diketahui peningkatan kualitas grouting

yang berbanding lurus dengan peningkatan nilai conus resistance dan umur dari grouting tersebut. Dimana pada kedalaman 8 meter pada grouting berumur 24 hari memiliki nilai conus resistance sebesar 20 kg/cm² dengan konsistensi tanah teguh, pada grouting berumur 37 hari memiliki conus resistance sebesar 50 kg/cm² dengan konsistensi tanah kaku, sedangkan pada grouting berumur 40 hari memiliki nilai conus resistance sebesar 80 kg/cm² dengan konsistensi tanah sangat kaku.

Lamanya waktu pengerasan cairan grouting disebabkan adanya pengaruh dari sistem air tanah yang ada pada lokasi penelitian, dimana muka air tanah berada pada kedalaman 0,25 m.

Tabel 6. Perbandingan qc pada SD2, SD3, dan SD4

SD2 Umur 24 Hari			SD3 Umur 37 Hari		SD4 Umur 40 Hari	
Depth (m)	qc (kg/cm ²)	Konsistensi Tanah (Terzaghi dan Peck, 1984)	qc (kg/cm ²)	Konsistensi Tanah (Terzaghi dan Peck, 1984)	qc (kg/cm ²)	Konsistensi Tanah (Terzaghi dan Peck, 1984)
6,00	18.0	Teguh	27.0	Teguh	30.0	Teguh
6,20	15.0	Teguh	20.0	Teguh	25.0	Teguh
6,40	10.0	Teguh	20.0	Teguh	30.0	Teguh
6,60	12.0	Teguh	25.0	Teguh	30.0	Teguh
6,80	14.0	Teguh	30.0	Teguh	28.0	Teguh
7,00	20.0	Teguh	25.0	Teguh	35.0	Kaku
7,20	18.0	Teguh	30.0	Teguh	40.0	Kaku
7,40	18.0	Teguh	34.0	Teguh	50.0	Kaku
7,60	18.0	Teguh	40.0	Kaku	50.0	Kaku
7,80	19.0	Teguh	50.0	Kaku	60.0	Kaku
8,00	20.0	Teguh	50.0	Kaku	80.0	Sangat kaku

5. Daya Dukung Tanah pada Lokasi Penelitian

Daya dukung ultimit (ultimit bearing capacity/qult) didefinisikan sebagai beban maksimum per satuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Untuk menentukan daya dukungnya digunakan rumus dari Wesley (1977).

$$Q_{ult} = p A + f O$$

dimana :

Qult = Daya Dukung Ultimit Tanah (kg)

p = Nilai Conus (kg/cm²)

A = Luas Penampang Tiang (cm²)

f = Jumlah Hambatan Lekat (kg/cm)

O = Keliling Penampang Tiang (cm)

Setelah didapatkan nilai daya dukung Ultimit Tanah (qult), Langkah selanjutnya menghitung daya dukung ijin (qall) tanah yaitu :

$$Q_{all} = (p A) / S_{f1} + (f O) / S_{f2}$$

dimana :

Qall = Daya Dukung ijin tanah (kg)

p = Nilai Conus (kg/cm²)

A = Luas Penampang Tiang (cm²)

f = Jumlah Hambatan Lekat (kg/cm)

O = Keliling Penampang Tiang (cm)

Sf1 = Faktor Keamanan biasanya nilainya diambil 3

Sf2 = Faktor Keamanan biasanya nilainya diambil 5

6. Perbandingan Daya Dukung Tanah Sebelum dan Setelah Grouting

Berdasarkan perbandingan daya dukung tanah sebelum dan setelah grouting (tabel 7), diketahui daya dukung tanah SD1 pada kedalaman 12 meter memiliki nilai 3,83 ton dimana daya dukung tanah ini kurang dari kapasitas yang dibutuhkan (4,8 ton) sehingga daya dukung tanah pada lokasi penelitian dikatakan tidak cukup kuat atau tidak aman. Sedangkan daya dukung tanah SD2 pada kedalaman 12 meter memiliki nilai 39,75 ton, dimana daya dukung tanah ini telah jauh melebihi kapasitas yang dibutuhkan (4,8 ton) sehingga daya dukung tanah pada lokasi penelitian dapat dikatakan cukup kuat atau aman. Daya dukung tanah pada SD3 dan SD4 tidak dapat diukur karena alat sondir tidak

dapat mencapai kedalaman tersebut dikarenakan tingginya konsistensi tanah pada kedalaman tersebut akibat *grouting*.

Contoh Perhitungan :

Pada titik SD2

$$\begin{aligned}
 \bullet Q_{ult} &= (p) (A) + (F) (O) \\
 &= (100) (3,14 \times 10^2) + (2332) (2 \times 3,14 \times 10) \\
 &= 31.400 + 146.449 \\
 &= 177849,60 \text{ kg} \\
 &= 177,84 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet Q_{all} &= ((p) (A) / Sf1) + ((f) (O) / Sf2) \\
 &= ((100) (3,14 \times 10^2) / 3) + ((2332) (2 \times 3,14 \times 10) / 5) \\
 &= (31.400 / 3) + (146.449 / 5) \\
 &= 10.466,66 + 29.289,80 \\
 &= 39756,59 \text{ kg} \\
 &= 39,75 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Perbandingan Daya Dukung Tanah Sebelum dan Setelah Grouting

Titik Sondir	Kedalaman (m)	Nilai p (kg/cm ²)	Nilai f (kg/cm)	Daya Dukung Tanah q _{ult} (kg)	Daya Dukung Tanah q _{ult} (ton)	Daya Dukung izin Tanah q _{all} (kg)	Daya Dukung izin Tanah q _{all} (ton)
SD1	12,00	10,00	222,00	17081,60	17,08	3834,98	3,83
SD2	12,00	100,00	2332,00	177849,60	177,84	39756,59	39,75
SD3	12,00	-	-	-	-	-	-
SD4	12,00	-	-	-	-	-	-

X. Kesimpulan

- Jenis tanah dan sifat tanah pada lokasi penelitian berupa lempung hingga lempung kelanauan yang merupakan tanah terangkut (*transported soil*).
- Sebelum dilakukan *grouting*, konsistensi tanah kaku tidak didapati hingga kedalaman 23,00 meter, sedangkan setelah *grouting* dilakukan

konsistensi tanah kaku terdapat mulai dari kedalaman 7,00 meter.

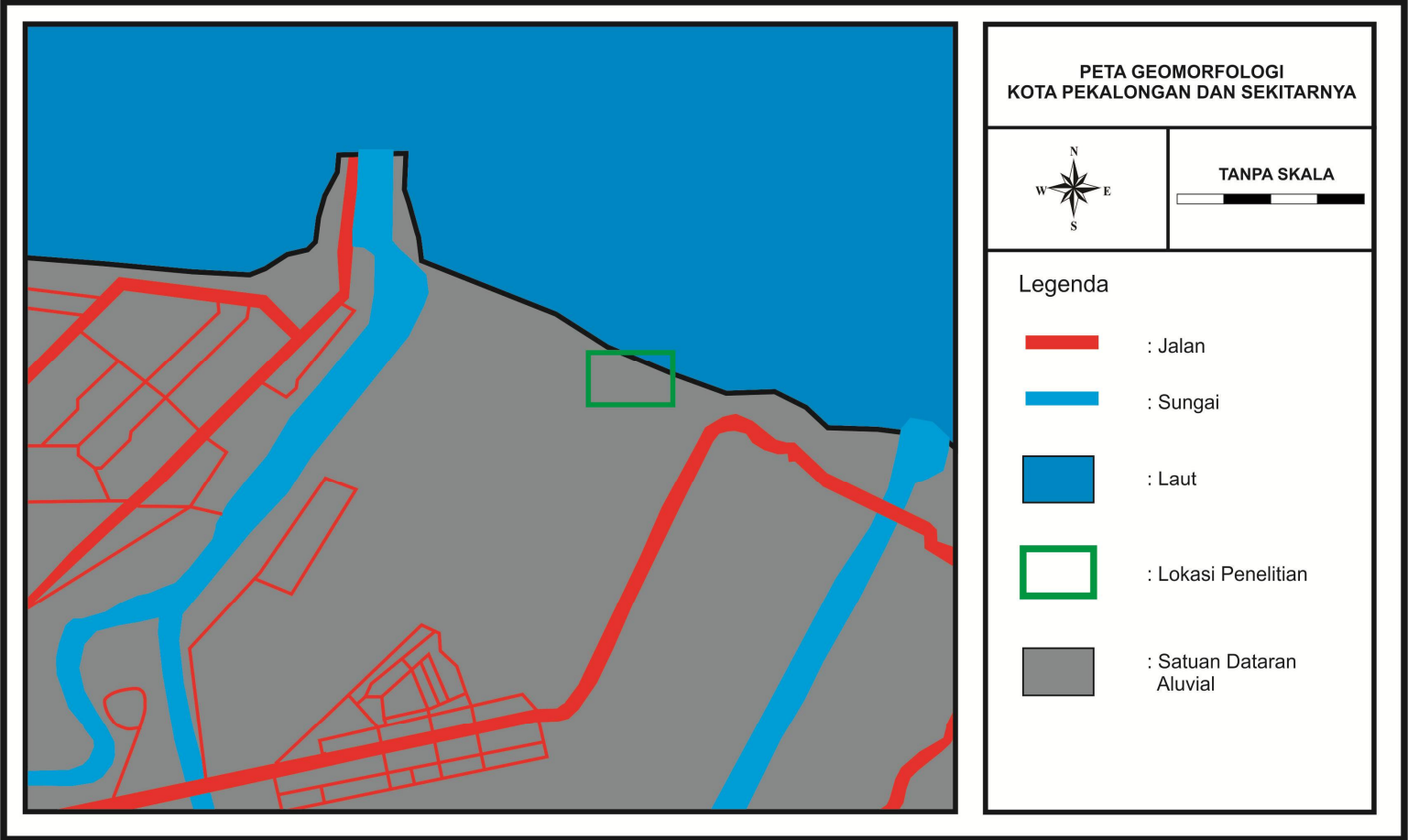
- Jenis *grouting* yang dilakukan berupa *permeation grouting* atau sementasi penembusan.
- Efektifitas *grouting* mencapai 500%. pada kedalaman 2 meter, yaitu pada titik SD1 sebelum *grouting* sebesar 2 kg/cm² dengan titik SD4 setelah *grouting* sebesar 12 kg/cm².
- Nilai daya dukung ijin tanah pada kedalaman 12 meter pada titik SD1 sebelum *grouting* 3,83 ton, sedangkan pada titik SD2 setelah *grouting* nilai daya dukung ijin tanah 39,75 ton.
- Daya dukung tanah setelah *grouting* pada lokasi penelitian cukup kuat atau aman untuk menanggung beban di atasnya.

XI. Daftar Pustaka

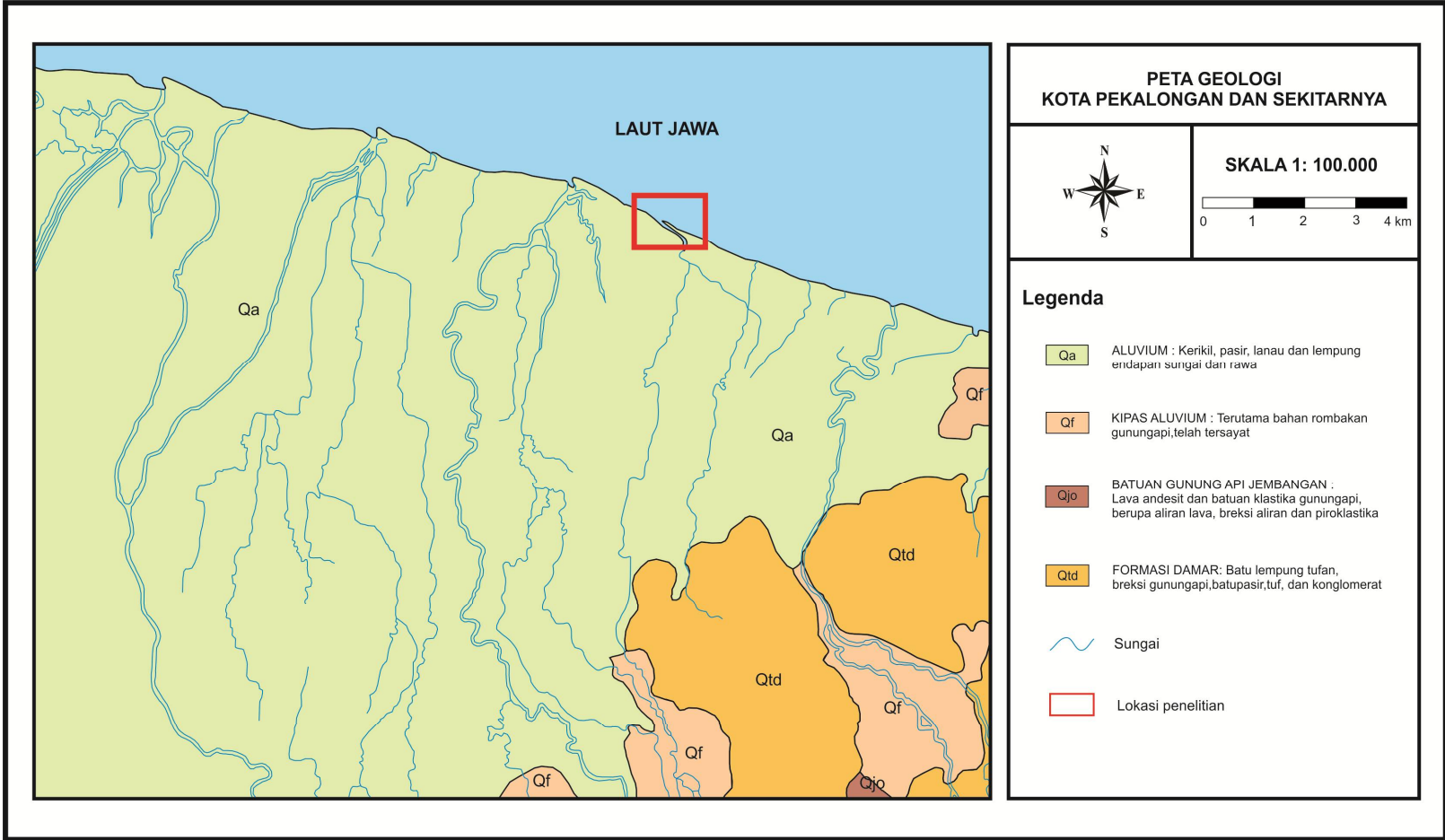
- Barentsen, P. 1936. Short description of field testing method with cone shaped sounding apparatus. *In Proceedings 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Cambridge, Mass, 1, B/3: 6-10.
- Bowles, J.E. dan Hainim, J.K. 1991. *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Dwiyanto, J.S. 2005. *Handout Geoteknik D4 Sungai dan Pantai*. Departemen Pekerjaan Umum. Badan Pembinaan Konstruksidan Sumber Daya Manusia Pusat Pembinaan Keahlian dan Teknik Konstruksi, Bandung.
- Hardiyatmo, Hary. 1998. *Teknik Pondasi*. (<http://artikelsipil.blogspot.com/2011/fondasi-pada-tanah-lempung.htm>).
- Hudoro, Humaryono. 2001. *Survey Geoteknik, Bagindari 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.
- Pemerintah Kota Pekalongan, 2010. URL <http://www.pemkotpekalongan.co.id>

- PT. SelimutBumiAdhiCipta. 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 Standar Nasional.
- 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/>9April2012/11.00WIB.
- Sosrodarsono, Suyonodan 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.
- Warner, J .2005.*Practical Handbook of Grouting Soil, Rock and Structures.* Mariposa. California.
- Wesley, L.D. 1977.*Mekanika Tanah,* Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

XII. Lampiran



Lampiran 1. Peta Geomorfologi Kota Pekalongan dan sekitarnya



Lampiran 2. Peta Geologi Kota Pekalongan dan sekitarnya (Condon, 1996)

Lampiran 3. Tabel Perbandingan *Conus Resistance* pada SD1 dan SD4

SD1					SD4				
Depth (m)	qc (kg/cm ²)	qc (Mpa)	FR (%)	Konsistensi Tanah (Terzaghi dan Peck 1984)	Depth (m)	qc (kg/cm ²)	qc (Mpa)	FR (%)	Konsistensi Tanah (Terzaghi dan Peck, 1984)
0,00	0,00	0,00	0,00	Sangat lunak	0,00	0.0	0,0	0.0	-
0,20	0,00	0,00	0,00	Sangat lunak	0,20	2.0	0,19	0.0	Sangat lunak
0,40	2,00	0,19	5,00	Sangat lunak	0,40	3.0	0,29	6.7	Sangat lunak
0,60	2,00	0,19	5,00	Sangat lunak	0,60	3.0	0,29	16.7	Sangat lunak
0,80	2,00	0,19	5,00	Sangat lunak	0,80	4.0	0,39	10.0	Sangat lunak
1,00	2,00	0,19	5,00	Sangat lunak	1,00	5.0	0,49	10.0	Sangat lunak
1,20	2,00	0,19	10,00	Sangat lunak	1,20	6.0	0,58	10.0	Lunak
1,40	2,00	0,19	10,00	Sangat lunak	1,40	8.0	0,78	2.5	Lunak
1,60	2,00	0,19	5,00	Sangat lunak	1,60	10.0	0,98	6.0	Lunak
1,80	2,00	0,19	5,00	Sangat lunak	1,80	8.0	0,78	7.5	Lunak
2,00	2,00	0,19	10,00	Sangat lunak	2,00	12.0	1,17	5.8	Teguh
2,20	2,00	0,19	10,00	Sangat lunak	2,20	12.0	1,17	9.2	Teguh
2,40	2,00	0,19	10,00	Sangat lunak	2,40	13.0	1,27	9.2	Teguh
2,60	4,00	0,39	5,00	Sangat lunak	2,60	16.0	1,56	7.5	Teguh
2,80	4,00	0,39	5,00	Sangat lunak	2,80	14.0	1,37	4.3	Teguh
3,00	4,00	0,39	5,00	Sangat lunak	3,00	15.0	1,47	6.7	Teguh