

ZONAFIKASI PARAMETER PEMAMPATAN TANAH LUNAK DAN ANALISANYA TERHADAP WAKTU DAN VARIASI JARAK PEMASANGAN PVD DI WILAYAH SURABAYA TIMUR

Haniffan Daruquthni Baihaqi^a, Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.^b, Putu Tantri Kumalasari, S.T., M.T.^b
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: haniffanbaihaqi@gmail.com

Abstrak - Banyaknya tanah lunak di Indonesia menjadi permasalahan tersendiri dalam mengimbangi pesatnya pertumbuhan pembangunan di Indonesia. Maka dari itu untuk menangani permasalahan tersebut diperlukan suatu metode yang tepat untuk proses perbaikan tanah lunak. Metode preloading dengan penggunaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) untuk mempercepat proses pemampatan tanah dianggap sebagai metode paling mudah diterapkan di lapangan. Namun, selama ini perhitungan perencanaan desain PVD hanya dapat digunakan pada satu area dengan data tanah di lokasi itu saja sehingga pihak perencana harus menghitung ulang setiap tahap perhitungan pada perencanaan di setiap lokasi proyek perbaikan tanah yang berbeda. Perhitungan ulang tersebut membutuhkan banyak waktu sehingga dapat merugikan pihak perencana.

Di sisi lain, Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan FTSP ITS memiliki banyak sekali arsip data uji penyelidikan tanah yang disimpan. Sehingga tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu untuk merangkaikan data parameter pemampatan tanah yang ada dalam arsip tersebut menjadi bentuk visual akan sangat bermanfaat untuk proses perencanaan perbaikan tanah lunak dengan metode preloading dengan menggunakan PVD.

Hasil dari tugas akhir ini yaitu berupa peta sebaran parameter tanah lunak di wilayah Kota Surabaya Timur sebagai bentuk visualisasi data parameter pemampatan tanah (diukur dengan $C_{v_{gabungan}}$) untuk mempermudah proses perancangan perbaikan tanah. Peta tersebut didukung dengan hasil analisa hubungan antara $C_{v_{gabungan}}$ dengan waktu pemampatan terhadap variasi jarak PVD, guna membantu proses perencanaan perbaikan tanah lunak dengan metode preloading dengan PVD. Dari proses pemetaan tersebut didapatkan rentang nilai $C_{v_{gabungan}}$ di wilayah Surabaya Timur sebesar 0.000168 – 0.00228 cm^2/s , dengan tebal lapisan tanah lunak sebesar 6.5 m – 21 m, dan waktu pemampatan alami bekisar antara 10 tahun sampai 374 tahun. Kemudian berdasar rentang hasil pemetaan tersebut akan disajikan sebuah grafik hasil analisa hubungan antara nilai $C_{v_{gabungan}}$ dengan waktu pemampatan yang diinginkan terhadap variasi jarak PVD yang seharusnya dipasang.

Kata kunci : Pemetaan, Preloading, Settlement, PVD, Cv

PENDAHULUAN

Konsistensi Tanah Lunak di Indonesia yang terdiri dari lempung lunak (*soft clay*) dan gambut (*peat*) menyebar rata hampir ke seluruh Indonesia menjadi suatu permasalahan dalam pertumbuhan pembangunan di Indonesia. Tanah lunak menempati area lebih dari 20 juta hektar atau lebih dari 10% dari tanah daratan di Indonesia. Kota Surabaya termasuk salah satu kota yang menempati sebaran wilayah tanah lunak yang ada di Indonesia.

Seiring perkembangan teknologi muncul banyak sekali metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan di Indonesia dengan masing masing kelebihan dan kelemahan dari tiap metode tersebut. Tentunya metode-metode tersebut harus disesuaikan dengan kondisi tanah yang akan dilakukan perbaikan. Pemilihan metode perbaikan tanah dengan sistem preloading dan menggunakan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dinilai lebih efektif karena metode preloading sangat

mudah penggunaannya dan lebih ekonomis dibandingkan metode yang lain, sedangkan pemasangan PVD berguna untuk mempercepat waktu konsolidasi alami setelah dilakukan proses preloading.

Telepas dari itu belum adanya ukuran-ukuran jarak pemasangan PVD yang terstandarisasi sesuai dengan jenis tanah lunak dan belum adanya acuan yang membatasi metode preloading dengan menggunakan PVD di setiap kondisi tanah dasar membuat pihak perencana mengalami kesulitan karena harus merencanakan perhitungan di setiap pelaksanaan proyek. Kemudian apabila ada proyek yang serupa, hasil perencanaan sebelumnya tidak dapat digunakan kembali karena terdapat perbedaan data tanah dan parameter pemampatan tanah yang berbeda di tiap lokasinya, selain itu ketidaksesuaian pelaksanaan di lapangan dengan perancangan seringkali terjadi karena belum adanya ukuran-ukuran yang membatasi pekerjaan perbaikan tanah dengan metode preloading dan menggunakan PVD, hal tersebut tentu saja akan menghabiskan banyak waktu.

Di satu sisi lain laboratorium mekanika tanah dan batuan jurusan teknik sipil ITS yang telah berdiri sejak tahun 1960 telah melakukan banyak uji lapangan dan laboratorium. Selama ini data-data tersebut hanya tersimpan di lemari sebagai arsip pelaporan yang telah diserahkan kepada pihak pemberi pekerjaan. Merangkaikan data-data tersebut menjadi satu kesatuan data dan ditampilkan secara visual akan memberikan banyak manfaat untuk perencanaan infrastruktur. Menanggapi hal tersebut sebelumnya telah dilakukan suatu penelitian tentang pemetaan tanah bawah permukaan dengan studi kasus wilayah Surabaya Timur (Satrya,dkk, 2013). Dengan mengadopsi penelitian tersebut akan dikembangkan sebuah penelitian selanjutnya yang akan diangkat dalam penulisan tugas akhir ini yaitu pemetaan atau zonifikasi parameter pemampatan tanah lunak di kota Surabaya Timur sebagai hasil visualisasi kumpulan data tanah (khususnya $C_{v_{gabungan}}$) untuk mempermudah proses perencanaan perbaikan tanah lunak.

Dari hasil zonifikasi tersebut akan dilanjutkan dengan analisa hubungan antara parameter pemampatan tanah ($C_{v_{gabungan}}$) dengan waktu pemampatan terhadap variasi jarak pemasangan PVD pada tebal tanah kompresibel (Hdr) sesuai range data dalam wilayah studi. Dengan demikian untuk mempermudah proses perencanaan perbaikan tanah, hasil dari analisa tersebut dituangkan dalam suatu grafik hubungan antara $C_{v_{gabungan}}$ dengan Waktu pemampatan terhadap variasi jarak pemasangan PVD.

Penyusunan pemetaan parameter tanah yang dilakukan dalam tugas akhir ini ditujukan untuk wilayah Surabaya Timur karena di wilayah tersebut dapat diindikasikan sebagai daerah yang memiliki sebaran tanah lempung lunak cukup banyak.

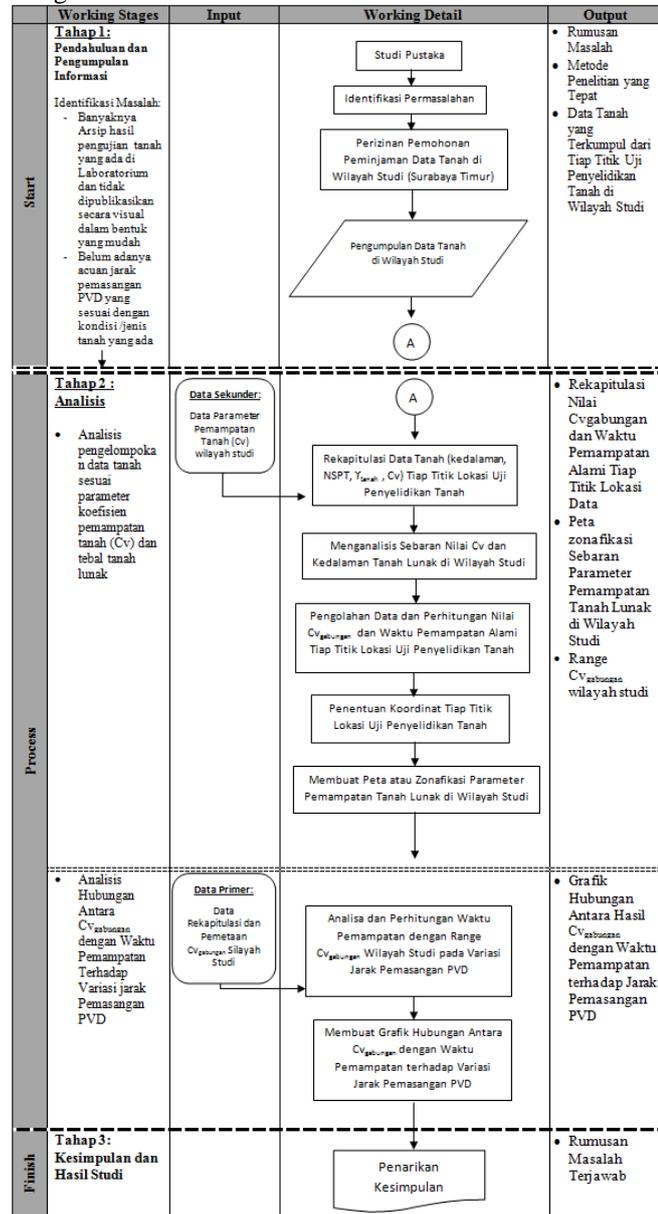
Maka dari itu tujuan tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah untuk membuat peta parameter

pemampatan tanah lunak ($C_{vgabungan}$) yang ada wilayah Kota Surabaya dan dilanjutkan dengan membuat analisa hubungan antara parameter tanah lunak dengan waktu pemampatan terhadap variasi jarak pemasangan PVD.

Beberapa hal yang diharapkan dapat menjadi manfaat dari penyusunan Tugas Akhir ini yaitu : (1) Sebagai bentuk visualisasi arsip parameter pemampatan tanah lunak hasil penelitian oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Teknik Sipil FTSP ITS, (2) Sebagai media untuk mempermudah proses perencanaan perbaikan tanah lunak di wilayah Kota Surabaya Timur dengan sistem *preloading* dengan PVD dengan mudah dapat dilakukan, (3) Memberikan acuan kepada pihak perencana perbaikan tanah dalam merencanakan pemasangan PVD, (4) Sebagai referensi bagi masyarakat umum, mahasiswa, pemerintah ataupun insatansi lain yang akan melaksanakan proyek serupa.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Perencanaan

DATA DAN ANALISA DATA

Data yang digunakan dalam penulisan ini yaitu data tanah hasil laporan uji penyelidikan tanah yang menjadi bagian dari arsip Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan FTSP ITS. Dari proses pengumpulan data didapatkan total titik hasil pengujian sebanyak 95 titik yang tersebar di 55 lokasi proyek di Surabaya Timur. Dari keseluruhan titik tersebut tidak semuanya memiliki kelengkapan yang dibutuhkan dalam penelitian yang diangkat di tugas akhir ini, berikut rekapitulasi data kelengkapan dan lokasi titik data disajikan dalam Tabel 1.

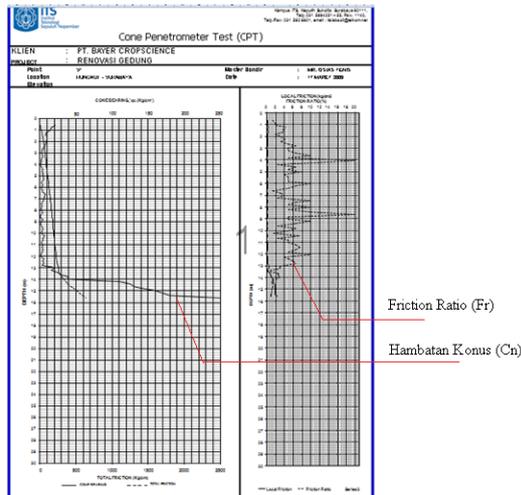
Tabel 1. Rekapitulasi Kelengkapan Data

No	Lokasi	Jumlah Titik	Borlog dan NSPT	Sondir	Uji Volumetri	Uji konsolidasi
1	asrama mahasiswa kampus C unair	1	√	-	√	√
2	fmipa kampus C unair	2	√	-	√	√
3	saluran sungai kalibokor (hulu keputih)	1	-	√	√	√
4	saluran sungai kalibokor, keputih (hilir DAM)	8	-	√	√	√
5	saluran sungai kalibokor, keputih (rumah pompa kalibokor)	3	√	√	√	√
6	apartemen gunung anyar	5	√	-	√	√
7	telkom STO rungkut II	1	√	-	√	√
8	pakuwon city, laguna	1	-	√	√	√
9	jl. Ngagel (ex gedung BBI)	2	√	-	√	√
10	wonorejo permai utara VI/ 368 , nirwana executive	2	-	√	√	-
11	rungkut mejoyo utara V blok AE-35	2	-	√	√	-
12	jalan tembus jl darmahusada - jl raya merr	2	-	√	√	-
13	Gedung kidney Jl. Moestopo	1	√	√	√	√
14	jl. Merr IIC	1	√	√	√	√
15	jl. Kedung baru gg makam	1	-	√	√	-
16	gardu induk PLN wonorejo	1	√	-	√	-
17	jembatan kali kedung baru surabaya	2	√	-	√	-
18	pakuwon indah	1	√	-	√	√
19	baskarasari no 23-25	2	-	√	√	√
20	rumah pompa kalidami II	1	√	-	√	-
21	kampus untag	2	√	-	√	√
22	pintu air (hilir) bozem kalidami I	2	-	√	√	-
23	pintu air (hulu) bozem kalidami I	1	-	√	√	-
24	pintu air (hilir) bozem kalidami II	2	-	√	√	-
25	pintu air (hulu) bozem kalidami II	2	-	√	√	-
26	gedung PMI karang menjangan	2	-	√	√	-
27	hotel bisanta bidakara, Jl. kendangsari	1	-	√	√	-
28	rumah pompa arief rahman hakim	1	-	√	√	-
29	Jl. Labansari - jenjeran	1	-	√	√	-
30	teknik mesin UPN, jl medokan ayu, gunung anyar	2	√	-	√	√
31	jl. Manyar kertoarjo 33	2	-	√	√	-
32	rs. Ikabi Jl. Manyar	2	-	√	√	-
33	tower Jl. Nginden Intan	1	-	√	√	-
34	jl. pucang adi 68	2	-	√	√	-
35	stesia Jl. Menur pumungpan	2	-	√	√	-
36	gedung ika unair kampus C	2	-	√	√	√
37	sutorejo selatan II / 18-20	1	-	√	√	-
38	PT. bayern indonesia. Rungkut surabaya	6	-	√	√	√
39	Tower NTS jl tenggiling lama	1	-	√	√	√
40	proyek perbaikan pondasi villa kalijudan	1	-	√	√	√
41	despro its	1	√	√	√	√
42	pondok pesantren nurul hayati, Jl. Gunung anyar	1	-	√	√	-
43	pembangunan tower Jl. Manyar indah	1	-	√	√	-
44	gedung pusat desain dan rekayasa kapal ITS	1	√	-	√	√
45	proyek pemasangan ecodrain wonorejo	1	-	√	√	-
46	pakuwon city F- XVI 28, laguna	1	√	-	√	√
47	evaluasi rumah retak, puri mas rungkut	1	-	√	√	-
48	jl manyar rejo 1 no 1	2	-	√	√	√
49	bozem ITS, laguna	2	√	-	√	√
50	jl. Raya its-laguna	1	√	-	√	√
51	kampus A unair	2	-	√	√	√
52	dharmahusada indah 6/1 (gedung yppi)	1	√	-	√	√
53	masjid sabilus salam, Nginden intan timur XIV/2	1	√	-	√	√
54	tower BTS. Jl. Tambak oso	1	-	√	√	-
55	Jl. Manyar jaya 237	2	√	-	√	√
total titik		95				

Kebanyakan dari data yang didapatkan tidak memiliki kelengkapan borlog dan uji NSPT tanah. Data-data tersebut hanya memiliki nilai hasil pengujian sondir, maka dari itu perlu dilakukan beberapa pendekatan untuk mendapatkn besaran nilai NSPT dan jenis tanah lunak tiap lapisannya digunakan *Schmertmann Profiling Chart* (Schmertmann, 1978) dan untuk menentukan besar nilai NSPT digunakan Pengelompokan Konsistensi Tanah Dominan Lempung (Mochtar, 2010), dimana kedua pendekatan didasarkan pada besarnya nilai Tahanan Konus (C_n) dan *Friction Ratio* (Fr) yang didapat dari hasil sondir.

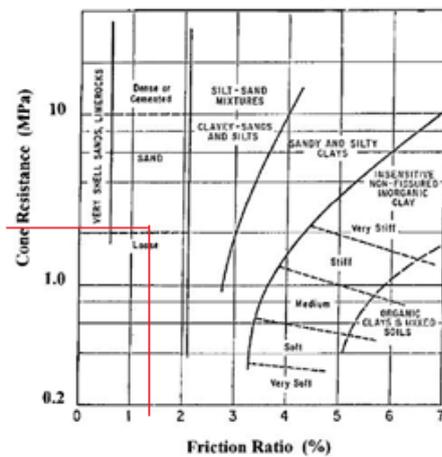
Sebagai contoh perhitungan dapat melihat titik nomor 38a di lokasi PT. Bayer Indonesia, Rungkut Surabaya Dalam titik ini tidak memiliki data borlog hasil bor dalam yang lengkap beserta nilai NSPT sehingga harus dilakukan pendekatan penentuan jenis dan kedlaman tanah lunak

sebelumnya. Grafik sondir titik ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Sondir Titik 38a, PT. Bayer Indonesia, Rungkut, Surabaya

Kemudian dengan menggunakan *Schmertmann Profiling Chart*, besarnya nilai Cn dan Fr pada lapisan kedalaman tertentu di *plotting* dan kemudian didapatkan jenis tanah seperti yang ditunjukkan dalam *plot* di grafik tersebut. Semisal pada kedalaman 0.6 meter pada titik 38a seperti ditunjukkan pada Gambar 2 di atas, besarnya Cn adalah 21 kg/cm² (2.1 Mpa) dan besarnya Fr yaitu 1.4% dengan demikian jenis tanah pada kedalaman 0.6m seperti yang terlihat dalam Gambar 3 adalah *loose sand*.



Gambar 3 Contoh *Plotting* Nilai Cn dan Fr dengan Menggunakan *Schmertmann Profiling Chart* (1978)

Dengan menggunakan cara yang sama di tiap kedalaman yang ditinjau maka akan didapatkan jenis tanah lunak di tiap lapisan kedalaman tertentu sesuai dengan nilai hambatan konus dan *friction ratio* pada grafik sondir. Setelah semua kedalaman tanah lunak dapat ditentukan jenisnya selanjutnya adalah mengelompokkan dominan jenis tanah tersebut sesuai kedalamannya.

Setelah penentuan jenis tanah telah terselesaikan, langkah berikutnya yaitu menghitung besarnya nilai NSPT berdasarkan hambatan konus yang diperoleh dari grafik sondir di atas. Berdasarkan Tabel 2, tentang Pengelompokan Konsistensi Tanah Dominan Lempung (Mochtar, 2010) dapat dihitung besarnya interpolasi nilai NSPT dari nilai Hambatan Konus. Sebagai contoh pada kedalaman 0.6 m titik nomor 38a yang berlokasi di PT. Bayer Indonesia, Rungkut Surabaya memiliki nilai hambatan konus 21kg/cm²

memiliki taksiran harga NSPT sebesar 5.25 kemudian dibulatkan kebawah sehingga pada kedalaman 0.6m titik 38a memiliki harga NSPT sebesar 5.

Tabel 2. Pengelompokan Konsistensi Tanah Dominan Lempung (Mochtar, 2010)

Konsistensi Tanah	Taksiran Harga Kekuatan Geser Undrained, Cu		Taksiran Harga SPT, Harga N	Taksiran Harga Tahanan Conus, qc (Sondir)	
	kPa	ton/m ²		kg/cm ²	kPa
Sangat Lunak (Very Soft)	0-12.5	0 - 1.25	0 - 2.5	0 - 10	0 - 1000
Lunak (Soft)	12.5-25	1.25 - 2.5	2.5 - 5	10 - 20	1000 - 2000
Menengah (Medium)	25-50	2.5 - 5	5 - 10	20 - 40	2000 - 4000
Kaku (Stiff)	50-100	5 - 10	10 - 20	40 - 75	4000 - 7500
Sangat Kaku (Very Stiff)	100-200	10 - 20	20 - 40	75 - 150	7500 - 15000
Keras (Hard)	>200	>20	>40	>150	>15000

Dengan melakukan hal yang sama tentang penentuan jenis tanah dan besarnya nilai NSPT tanah di tiap kedalaman yang ditinjau, hasil penentuan jenis tanah dan besar nilai NSPT tiap lapisan kedalaman tanah lunak pada titik 38a yang berlokasi di PT. Bayer Indonesia, Rungkut, Surabaya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut

Tabel 3 Contoh Rekapitulasi Penentuan Jenis Tanah dan NSPT Berdasarkan Nilai Test Sondir pada Titik 38a

Depth m	Cn (kg/cm ²)	Fr (%)	Jenis Tanah	dominan tanah	NSPT interpolasi	NSPT rundown
0					0	0
0.2					0	0
0.4					0	0
0.6	21	1.4	loose sand	loose sand	5.25	5
0.8	16	1.9	loose sand		4	4
1	14	2.1	loose sand		3.5	3
1.2	9	4.4	medium cl		2.25	2
1.4	8	3.8	medium cl		2	2
1.6	10	4.0	medium cl	medium clay	2.5	2
1.8	10	2.0	loose sand		2.5	2
2	9	3.3	silty clay		2.25	2
2.2	7	4.3	medium cl		1.75	1
2.4	6	3.3	silty clay		1.5	1
2.6	4	5.0	soft clay		1	1
2.8	3	6.7	organic cla		0.75	0
3	2	5.0	very soft cl		0.5	0
3.2	4	5.0	soft clay		1	1
3.4	3	6.7	organic cla		0.75	0
3.6	2	10.0	organic cla		0.5	0
3.8	2	5.0	very soft cl		0.5	0
4	1	20.0	organic cla	soft clay	0.25	0
4.2	2	10.0	organic cla		0.5	0
4.4	4	2.5	clayey silt		1	1
4.6	3	6.7	organic cla		0.75	0
4.8	4	5.0	soft clay		1	1
5	4	7.5	organic cla		1	1
5.2	5	4.0	soft clay		1.25	1
5.4	4	5.0	soft clay		1	1
5.6	2	5.0	very soft cl		0.5	0
5.8	4	5.0	soft clay		1	1

Kemudian untuk melengkapi data uji konsolidasi yang kurang lengkap di beberapa titik, penulis melakukan uji statistika sederhana untuk mendapatkan korelasi besarnya nilai Cv di tiap kisaran berat volume tanah dari keseluruhan data yang memiliki kelengkapan hasil uji konsolidasi. Penentuan korelasi tersebut dilakukan dengan mengelompokkan nilai Cv di tiap kisaran besar berat volume tanah dan diuji besarnya nilai koefisien variasinya (COV) harus kurang dari 20%. Dimana besarnya Nilai COV didapat dari persamaan

$$COV = \frac{STD}{U} \times 100\%$$

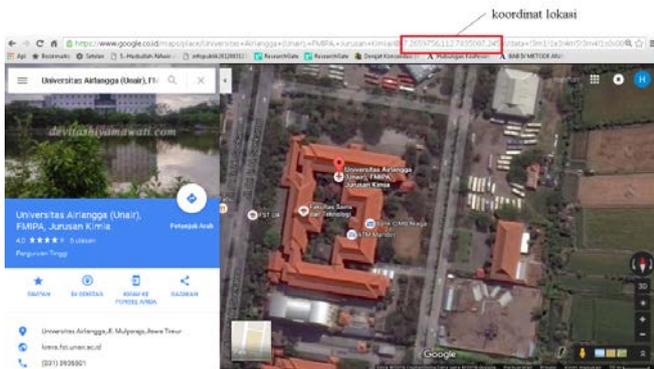
Dimana: STD adalah nilai standard deviasi nilai Cv pada kelompok rentang berat volume tertentu, dan U adalah rata-rata nilai Cv pada kelompok rentang berat volume tertentu

Setelah nilai COV berhasil memenuhi persyaratan yaitu $COV < 20\%$, maka besarnya korelasi antara berat volume tanah dan C_v di wilayah Surabaya Timur dapat dilihat di Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai Korelasi C_v Pada Rentang γ_{tanah} Hasil Uji Konsolidasi di Laboratorium

Y_t (t/m ³)	C_v (cm ² /s)
1.1-1.299	0.000562882
1.3-1.399	0.000550174
1.4-1.45	0.000463571
1.451-1.499	0.000577875
1.5-1.55	0.000430286
1.551-1.599	0.000437
1.6-1.65	0.000510778
1.651-1.699	0.000598
1.7-1.99	0.000663417

Kemudian pendekatan sekanjutnya yaitu pendekatan untuk menentukan koordinat titik. Pendekatan ini ditujukan untuk proses pembuatan peta sebaran parameter pemampatan tanah lunak yang didapatkan dengan cara memasukkan alamat lokasi proyek kedalam aplikasi *google maps*, kemudian dicatat posisi koordinat garis lintang dan bujur di lokasi tersebut seperti yang ditampilkan dalam Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Penentuan Koordinat pada Titik 2, Gedung FMIPA UNAIR

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua kelengkapan data terpenuhi proses selanjutnya yaitu menghitung besarnya $C_{v\text{gabungan}}$ dan waktu pemampatan alami dengan persamaan:

$$C_{v\text{gabungan}} = \frac{\sum(z/\sqrt{C_v})}{(\sum z)^2}$$

$$t = \frac{T_v \times H_{Dr}^2}{C_{v\text{gabungan}}}$$

Kemudian melakukan rekapitulasi data di tiap titiknya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut.

Tabel 5. Perhitungan Lama Waktu Pemampatan Alami di Titik 1 (Asrama Mahasiswa Kampus C UNAIR)

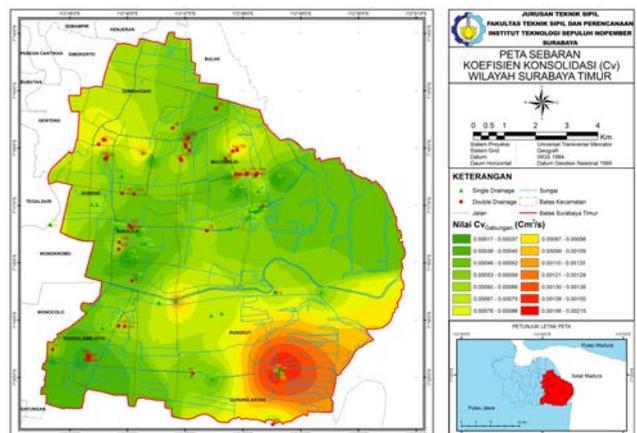
U(%)	(T_v)	Hdr (cm)	C_v (cm ² /s)	t (tahun)
0	0	675	0.000438	0
10	0.007854			0.259161
20	0.031416			1.036643
30	0.070686			2.332446
40	0.125664			4.14657
50	0.19635			6.479016
60	0.286278			9.446418
70	0.402846			13.29285
80	0.567139			18.71409
90	0.848			27.98176
100	∞			-

Tabel 6. Rekapitulasi Perhitungan $C_{v\text{gabungan}}$ Pada Titik 1

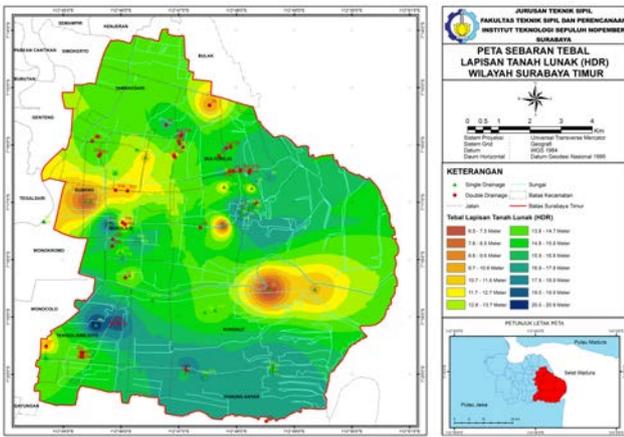
No	1						
lokasi	asrama mahasiswa kampus C unair						
koordinat x	-7.267358						
koordinat y	112.78461						
Hdr (m)	13.5						pasir
depth (m)	z (m)	jenis	NSPT	Y_t (t/m ³)	C_v (cm ² /s)	$z/\sqrt{C_v}$	C_v Gab
0	0.5	lempung berlanau keoklatan	0-0	1.497	0.000469	23.0879	0.000438
0.5	1			1.497	0.000469	23.0879	
1	1.5			1.497	0.000469	23.0879	
1.5	2			1.497	0.000469	23.0879	
2	2.5			1.497	0.000469	23.0879	
2.5	3			1.497	0.000469	23.0879	
3	3.5	pasir berlanau berlempung	0-0	1.497	0.000469	23.0879	
3.5	4			1.497	0.000469	23.0879	
4	4.5			1.579	0.000429	24.1402	
4.5	5			1.579	0.000429	24.1402	
5	5.5			1.579	0.000429	24.1402	
5.5	6			1.579	0.000429	24.1402	
6	6.5	pasir berlanau abu-abu	0-0	1.579	0.000429	24.1402	
6.5	7			1.579	0.000429	24.1402	
7	7.5			1.536	0.000429	24.1402	
7.5	8			1.536	0.000429	24.1402	
8	8.5			1.536	0.000429	24.1402	
8.5	9			1.536	0.000429	24.1402	
9	9.5	pasir berlanau lempung abu-abu	0-2	1.536	0.000429	24.1402	
9.5	10			1.536	0.000429	24.1402	
10	10.5			1.466	0.00042	24.3975	
10.5	11			1.466	0.00042	24.3975	
11	11.5			1.466	0.00042	24.3975	
11.5	12			1.466	0.00042	24.3975	
12	12.5	pasir berlanau abu-abu	2-11	1.196	0.00042	24.3975	
12.5	13			1.196	0.00042	24.3975	
13	13.5			1.196	0.00042	24.3975	

Dengan melakukan cara perhitungan, penentuan koordinat, dan rekapitulasi yang sama di total 95 titik, maka akan didapatkan total hasil rekapitulasi besarnya nilai $C_{v\text{gabungan}}$, waktu pemampatan alami, dan tebal lapisan tanah lunak di semua titik penyelidikan tanah yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan FTSP ITS di wilayah Surabaya Timur.

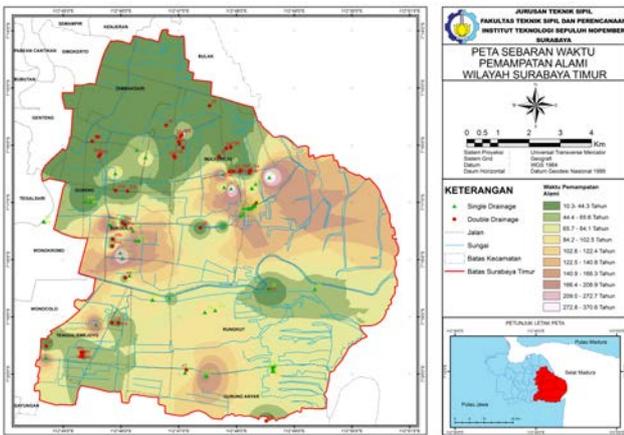
Dari hasil rekapitulasi nilai parameter pemampatan tanah tersebut, selanjutnya akan dibuat sebuah peta yang berisikan sebaran nilai $C_{v\text{gabungan}}$, sebaran tebal lapisan tanah lunak (Hdr) dan sebaran waktu pemampatan alami di wilayah Surabaya Timur dengan menggunakan program ArcGis 10.3. Dalam program ini dimasukkan nilai koordinat dan nilai masing-masing sebaran parameter pemampatan tanah sehingga didapat hasil peta seperti pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 berikut.



Gambar 5. Peta Sebaran $C_{v\text{gabungan}}$ di Wilayah Surabaya Timur



Gambar 6. Peta Sebaran Tebal Lapisan Tanah Lunak (Hdr) di Wilayah Surabaya Timur



Gambar 7. Peta Sebaran Waktu Pemampatan Alami di Wilayah Surabaya Timur

Dari hasil pemetaan dan rekapitulasi data di atas didapatkan rentang terendah dan tertinggi nilai $Cv_{gabungan}$, tebal lapisan tanah lunak (Hdr), dan waktu pemampatan alami di wilayah Surabaya Timur seperti pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Rentang Terendah dan Tertinggi dari $Cv_{gabungan}$, Hdr, dan Lama Waktu Pemampatan Alami

	Cv min (cm ² /s)	Cv max (cm ² /s)	H. min (m)	H. max (m)	Tahun min (tahun)	Tahun Max (tahun)
	0.000168	0.00228	6.5	21	10.2945432	374.319681
No Titik	21 b	6d	17 a	47	51 a	24

Dengan menggunakan rentang nilai $Cv_{gabungan}$ dan Hdr dari proses pemetaan diatas, akan dibuat suatu grafik analisa hubungan antara $Cv_{gabungan}$ dengan waktu pemampatan terhadap variasi jarak pemasangan PVD. Hasil analisa ini didasarkan pada perumusan empirik yaitu persamaan

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right)$$

dimana nilai Fn (Hambatan akibat jarak pemasangan PVD)

Dengan memvariasikan jarak PVD sebesar 0.75m sampai 2m didapatkan nilai Fn seperti Tabel 8 di bawah.

Tabel 8. Nilai Fn Tiap Variasi Jarak Pemasangan PVD

JARAK PVD S (m)	D = 1.05 s (m)	a (m)	b (m)	dw (m)	n	F(n)
0.75	0.7875	0.1	0.004	0.052	15.14423077	1.9751416
1	1.05	0.1	0.004	0.052	20.19230769	2.255301725
1.25	1.3125	0.1	0.004	0.052	25.24038462	2.478445276
1.5	1.575	0.1	0.004	0.052	30.28846154	2.660766833
1.75	1.8375	0.1	0.004	0.052	35.33653846	2.814917513
2	2.1	0.1	0.004	0.052	40.38461538	2.948448905

Kemudian besarnya $U_{rata-rata}$ didapat dengan persamaan

$$U_r = [1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)] \times 100\%$$

Dimana :

$$U_h = \left[1 - \exp \left(- \frac{8 \cdot C_h \cdot t}{D^2 \cdot F(n)} \right) \right] \times 100\%$$

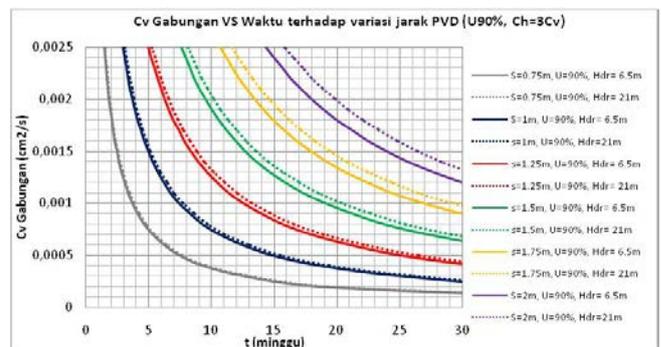
$$U_v = 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \times 100\%$$

Selanjutnya akan dihitung besarnya waktu pemampatan dengan menggunakan PVD yang didasarkan pada beberapa asumsi, yaitu: asumsi besar nilai C_h ($C_h=2C_v$ atau $C_h=3C_v$), dan capaian derajat konsolidasi rata-rata yang dicapai saat pemampatan berakhir ($U_{rata-rata}=90\%$ atau $U_{rata-rata}=80\%$). Sebagai contoh berikut adalah hasil perhitungan waktu pemampatan dengan menggunakan PVD berjarak 0.75m dengan $C_h=3C_v$ dan capaian $U_{rata-rata}$ sebesar 90% di akhir pemampatan.

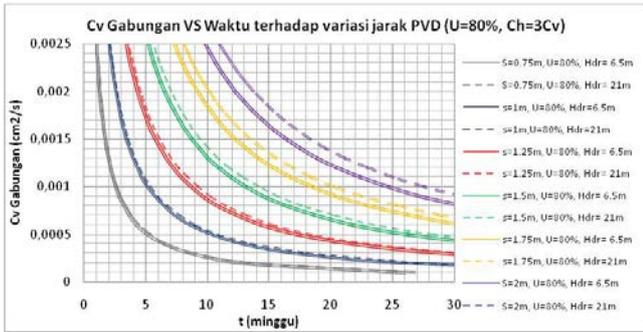
Tabel 9. Perhitungan Waktu Pemampatan dengan Jarak Pemasangan PVD 0.75m dengan asumsi $C_h=3C_v$ dan capaian $U_{rata-rata}$ sebesar 90%

cv gabungan (cm ² /s)	cv gabungan (m ² /s)	$ch=3cv$ (m ² /s)	t (minggu)	hdr (m)	T_v	U_v	U_h	U_{gab}
0.0001	1E-08	3E-08	37.40723	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0002	2E-08	6E-08	18.70361	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0003	3E-08	9E-08	12.46908	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0004	4E-08	1.2E-07	9.351807	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0005	5E-08	1.5E-07	7.481446	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0006	6E-08	1.8E-07	6.234538	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0007	7E-08	2.1E-07	5.34389	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0008	8E-08	2.4E-07	4.675904	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0009	9E-08	2.7E-07	4.156359	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.001	0.0000001	3E-07	3.740723	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0011	1.1E-07	3.3E-07	3.400657	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0012	1.2E-07	3.6E-07	3.117269	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0013	1.3E-07	3.9E-07	2.877479	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0014	1.4E-07	4.2E-07	2.671945	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0015	1.5E-07	4.5E-07	2.493815	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0016	1.6E-07	4.8E-07	2.337952	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0017	1.7E-07	5.1E-07	2.200425	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0018	1.8E-07	5.4E-07	2.078179	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0019	1.9E-07	5.7E-07	1.968802	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.002	0.0000002	6E-07	1.870361	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0021	2.1E-07	6.3E-07	1.781297	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0022	2.2E-07	6.6E-07	1.700329	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0023	2.3E-07	6.9E-07	1.626401	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0024	2.4E-07	7.2E-07	1.558635	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9
0.0025	2.5E-07	7.5E-07	1.496289	6.5	0.005354767	0.082570586	0.891	0.9

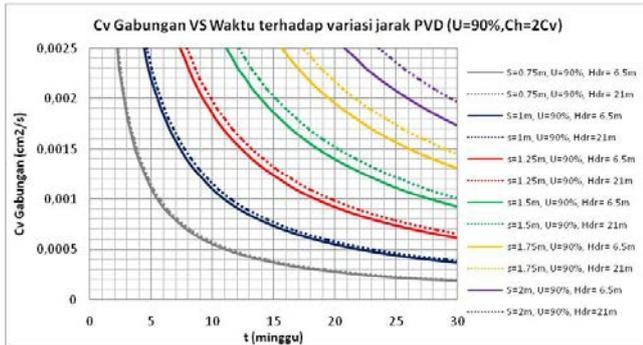
Kemudian dengan cara yang sama pada jarak pemasangan PVD yang berbeda dan asumsi pemasangan lainnya, akan didapatkan grafik hubungan antara $Cv_{gabungan}$, Waktu pemampatan terhadap variasi jarak pemasangan PVD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 berikut.



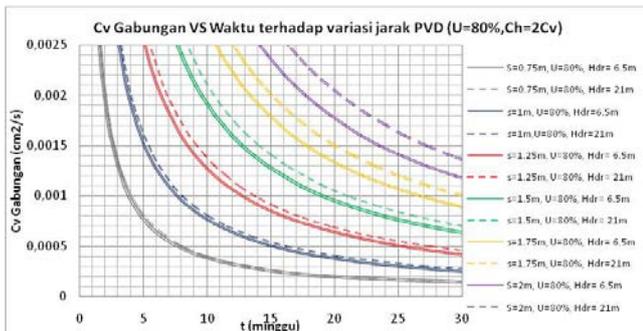
Gambar 8 Grafik Hubungan Antara $Cv_{gabungan}$ dan Waktu Pemampatan terhadap Variasi Jarak PVD dengan Asumsi $C_h=3C_v$ dan $U_{rata-rata} = 90\%$



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara $Cv_{gabungan}$ dan Waktu Pemampatan terhadap Variasi Jarak PVD dengan Asumsi $Ch=3Cv$ dan $U_{rata-rata} = 80\%$



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara $Cv_{gabungan}$ dan Waktu Pemampatan terhadap Variasi Jarak PVD dengan Asumsi $Ch=2Cv$ dan $U_{rata-rata} = 90\%$



Gambar 11. Grafik Hubungan Antara $Cv_{gabungan}$ dan Waktu Pemampatan terhadap Variasi Jarak PVD dengan Asumsi $Ch=2Cv$ dan $U_{rata-rata} = 80\%$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penulisan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

1. Dari keseluruhan data uji penyelidikan tanah di Surabaya Timur yang dimiliki Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dihasilkan sebuah Peta Sebaran Parameter sebagai gambaran nilai parameter pemampatan Tanah (diukur dengan $Cv_{gabungan}$). Dari hasil peta tersebut diketahui rentang nilai $Cv_{gabungan}$ di masing-masing kecamatan di wilayah Surabaya timur adalah sebagai berikut: Kecamatan Rungkut dengan rentang $Cv_{gabungan}$ sebesar 0.0006-0.00215 cm^2/s , Kecamatan Gunung Anyar dengan rentang $Cv_{gabungan}$ sebesar 0.0008-0.00215 cm^2/s , Kecamatan Tenggiling Mejoyo dengan rentang $Cv_{gabungan}$ sebesar 0.00046-0.00012 cm^2/s , Kecamatan Gubeng dengan rentang $Cv_{gabungan}$ sebesar 0.00046-0.00075 cm^2/s , Kecamatan Sukolilo dengan rentang

$Cv_{gabungan}$ sebesar 0.00017-0.00075 cm^2/s , Kecamatan Mulyorejo dengan rentang $Cv_{gabungan}$ sebesar 0.00017-0.00109 cm^2/s , dan Kecamatan Tambak Sari dengan rentang $Cv_{gabungan}$ sebesar 0.00038-0.00109 cm^2/s . Untuk menunjang Peta Sebaran Nilai $Cv_{gabungan}$ di wilayah Surabaya Timur digambarkan pula Peta Sebaran Tebal Lapisan Tanah Lunak dan Peta Sebaran Waktu Pemampatan Alami di wilayah Surabaya Timur.

2. Berdasar rentang nilai $Cv_{gabungan}$ di wilayah Surabaya Timur diperoleh kurva hubungan antara parameter tanah lunak (diukur dengan $Cv_{gabungan}$) dengan waktu pemampatan untuk jarak pemasangan PVD yang bervariasi dengan pola segitiga yang menunjukkan bahwa besarnya tebal lapisan tanah lunak (Hdr) tidak berpengaruh signifikan pada jarak pemasangan PVD yang saling berdekatan. Dengan kata lain semakin jauh jarak pemasangan antar PVD maka besarnya tebal lapisan tanah lunak (Hdr) yang akan dipasang PVD semakin berpengaruh besar. Grafik Hubungan $Cv_{gabungan}$ dan Waktu Pemampatan pada Variasi Jarak Pemasangan PVD di Wilayah Surabaya Timur seperti tersajikan dalam Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 di atas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].Aplikasi Instrumentasi Geoteknik untuk Konstruksi pada Tanah Lunak. Dokumen PT. Teknindo Geosistem Unggul. Wisma SIER, Surabaya.
- [2].Das, Braja M. 1998. **Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya : Erlangga
- [3].Mochtar, Indrasurya B . 2000. **Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problmatic Soils)**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- [4].Mochtar, Indrasurya B . 2011. **Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan untuk Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi di atasTanah Bermasalah Jilid 2**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- [5].Mochtar, Noor Endah. 2012. **Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah**. Surabaya: ITS Press
- [6].Satrya, Trihanyndio Rendy. 2013. **Pemetaan Tanah Bawah Permukaan**. Surabaya: Hibah Penelitian Pendukung Unggulan
- [7].Wahyudi, Herman. 2012. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: ITS Press
- [8].Wahyudi, Herman. 2012. **Daya Dukung Pondasi Dangkal**. Surabaya: ITS Press

- a) Mahasiswa Penyusun Tugas Akhir
- b) Pembimbing Tugas Akhir