

Studi Daya Dukung Pondasi Kolom-semen Pada Tanah Lunak Dengan Pondasi Kolom-semen Dengan Metode Loading Test Di Kota Pontianak

Irwan Tridayanto Sitompul¹, Abubakar Alwi², Eka Priadi²
e-mail: Irwansitompul48@gmail.com

Abstrak

Tanah lunak dalam skripsi ini merupakan tanah gambut dimana seperti yang diketahui tanah gambut memiliki kadar organik yang tinggi dan daya dukung yang rendah serta kembang susut yang tinggi disebabkan oleh kurangnya kandungan mineral didalamnya, oleh karena itu tanah gambut dikategorikan sebagai tanah yang sulit atau bermasalah. Ditengah maraknya tuntutan kebutuhan kawasan pembangunan yang semakin meningkat untuk terus mengembangkan infrastruktur pembangunan baru maka semakin meningkat pula pemanfaatan lahan gambut sebagai areal pembangunan infrastruktur baik untuk areal pemukiman maupun areal industri. Penelitian skripsi ini membahas pembangunan areal lahan gambut dengan metode stabilisasi bahan kimia yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung lahan gambut tersebut dimana dalam skripsi ini penulis menggunakan media kolom-semen yang diinjeksikan kedalam tanah menggunakan mini bor-pile dengan tambahan bahan kimia seperti Kapur, Bentonite, Portland cement, pasir dan air dimana bahan-bahan kimia tersebut dihitung dengan menggunakan perhitungan mix-design dengan dosage rate sebesar 500kg/m³ dimana pada penelitian ini juga digunakan media casing yang akan digunakan untuk membantu proses mix-design kolom-semen yang akan dibuat. Kolom-semen sendiri dibuat dengan ukuran diameter 30 cm dan tinggi 1,6 m atau dapat disebut juga kolom-semen panjang, setelah jadi –kolom-semen akan dibiarkan selama 28 hari atau mengalami masa curing time dan kemudian akan dibebani atau dilakukan Loading test dan dicari daya dukung kolom-semen tersebut dengan menggunakan metode perhitungan Analitis dan Grafis dan selanjutnya akan di tarik kesimpulan mengenai cara analitis dan grafis manakah yang akan sesuai untuk digunakan pada perhitungan daya dukung kolom-semen dalam penelitian ini yang diharapkan dengan keberhasilan penelitian ini dapat membantu proses pemanfaatan lahan gambut untuk pembangunan infrasturuktur dikemudian hari.

Kata kunci : Gambut, Kolom-semen, Loading test, Stabilisasi Tanah

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan suatu bahan utama yang menunjang kekuatan suatu konstruksi bangunan. Agar konstruksi dapat berdiri dengan kokoh, aman dan sesuai dengan umur rencana, maka tanah harus mempunyai nilai geoteknis yang diizinkan.

Rendahnya kekuatan mekanis tanah gambut baik kuat tekan maupun kuat gesernya merupakan penyebab rendahnya daya dukung tanah yang sangat berpotensi terjadi penurunan konstruksi diatas lahan gambut. Tanah gambut Kalimantan Barat sebagian besar merupakan tanah gambut jenis fibrous dengan kuat tekan bebas dari hasil uji *Unconfined Compressive Strength Test (UCS)* hanya berkisar 7 kPa, ditambah lagi dengan sifat kembang susutnya yang tinggi menyebabkan terjadinya krep yang berpengaruh pada konstruksi jalan dan berpotensi menimbulkan keretakan dan mempercepat kerusakan lapisan perkerasan jalan.

Sangat jelas terlihat bahwa biaya pemeliharaan dan peninggian permukaan jalan selalu dilakukan oleh pemerintah dikarenakan penurunan terus menerus terjadi di seluruh ruas jalan di kota Pontianak. (Alwi, 2009¹).

Telah banyak upaya yang telah dilakukan dalam perbaikan tanah gambut ini dengan menggunakan bahan kimia yang bervariasi yang hasilnya menunjukkan pengaruh bahan organik didalam tanah gambut ternyata menghambat proses hidrasi. Terlihat juga minimnya informasi studi tentang kimia tanah gambut yang belum banyak menarik minat peneliti sehingga menyulitkan dalam pelaksanaan stabilisasi menggunakan bahan kimia. Penelitian sifat kimia tanah dapat membantu penggunaan bahan kimia dalam dosis yang sesuai pada stabilisasi tanah

1. Alumni Prodi Teknik Sipil FT Untan
2. Dosen Prodi Teknik Sipil FT Untan

2. URAIAN PENELITIAN

Ada beberapa tahapan yang dilakukan selama penelitian ini berlangsung, diantaranya :

- Pengumpulan data primer maupun sekunder dari sampel tanah asli.
- Perencanaan Jenis Casing yang akan digunakan untuk pembuatan Kolom-semen di lapangan.
- Perhitungan beban rencana dengan metode Analitis dan Grafis.
- Pembuatan kolom-semen di lapangan dan *curing time* minimal 28 hari.
- Pelaksanaan Loading test untuk mengetahui daya dukung dari kolom-semen yang dihasilkan.

2.1. Tanah Gambut

Gambut adalah jenis tanah yang terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tumbuhanyang setengah membusuk, oleh sebab itu kandungan bahan organikya tinggi.

Gambut tropis terbentuk di dataran tinggi dan dataran rendah, pada umumnya disebut gambut yang terbentuk di daerah cekungan (*basin peat*) dan daerah lembah (*valley peat*). Kedalaman tanah gambut bervariasi pada kawasan tertentu dapat mencapai 1–10 m.

Tanah gambut memiliki karakteristik tersendiri yang berbeda dari tanah mineral dan memiliki kondisi tersendiri. Karakteristik khusus tanah gambut tersebut termasuk didalamnya.

- Kadar air asli sangat tinggi.
- Kembang susut tinggi termasuk pada konsolidasi sekunder dan primer
- Tegangan geser rendah (antara 5-20 kPa)
- Ketidak seragaman tinggi
- Berpotensi terjadi pelapukan sebagai dampak perubahan kondisi lingkungan

2.2. Pondasi Kolom-semen

Menurut Alwi (1996) Pondasi Kolom-semen merupakan pondasi yang dibuat menggunakan material stabilisasi seperti *Portland cement*, Bentonite dan pasir, pondasi ini berbeda dengan pondasi tiang karena pondasi ini memiliki kekerasan yang berbeda dengan pondasi tiang dan pondasi kolom-semen ini sendiri memiliki sifat keruntuhan *bulging* (mengembang).

Konsep perhitungan kolom-semen ini penulis mengambil dari perhitungan stone kolom pada *Thesis Alwi (1996)* “Studi Daya Dukung Pondasi Pelat Lingkaran Pada Tanah Lunak Dengan Stabilisasi Semen Pada Tanah Dibawah Pondasi”.

Perhitungan daya dukung kolom-semen dilaksanakan sebagai *end bearing* dimana ujung bawah kolom-semen mencapai tanah keras, atau sebagai *floating column* apabila ujung kolom-semen tertanam pada tanah lunak. Kolom semen yang mempunyai ukuran $L > 4B$ dikategorikan sebagai kolom-semen panjang.

Kolom semen akan mengalami keruntuhan dengan terjadi *bulging*(Mengembang) sampai pada kedalaman 2 atau 3 kali diameter dari permukaan baik pada kondisi *End bearing* atau *Floating column*. Tipe keruntuhan ini biasanya dipergunakan sebagai kontrol mekanisme kolom-semen.

2.3. Mix Design Bahan Campuran Kolom-Semen

Metode penelitian diawali dengan pembuatan campuran *mix-design* untuk mengetahui berapa banyak bahan yang akan digunakan sebagai material stabilisasi kolom-semen, bahan sendiri terdiri dari kapur,semen,bentonite dan pasir. Untuk pasir sendiri dimana pada penelitian sebelumnya oleh Aisamudin, G.(2012) menggunakan pasir sebanyak 20 % dan hasil yang didapat kurang maksimal maka pada penelitian kali ini penulis menggunakan pasir sebesar 40 % dan *dosage* yang digunakan jug ditingkatkan menjadi 500 kg/m^3 dengan harapan agar kolom-semen yang dihasilkan dapat lebih baik dan kokoh.

Dari hasil perhitungan mix design diatas didapat hasil penggunaan bahan bahan campuran. Dimana pada mix design diatas penggunaan kapur sebesar 12 kg/cm^3 , semen $35,33 \text{ kg/cm}^3$, pasir $32,11 \text{ kg/cm}^3$.

Bahan yang digunakan :

- Semen PC
- Sodium Bentonite
- Pasir
- Kapur
- Zat Adiktif S4
- Alat Instalasi Kolom-semen : Mini Bor pile, *Blade* bor pile $\varnothing 30 \text{ cm}$, *Casing*

- Perlengkapan : Kunci pipa dan kunci pas, Chain hook, oli

2.4. Uji Pembebanan Langsung (Loading Test)

Tujuan

Dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar daya dukung Kolom-Semen di lapangan. Biasanya daya dukung tiang rencana dihitung secara analitis berdasarkan beban yang dapat ditahan dan karakteristik tanahnya

2.5. Prosedur Pelaksanaan

Cara pembebanan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *Constant Rate of Penetration Test Method*. Prosedur pembebanannya berdasarkan ASTM D. 1143-81 yaitu sebagai berikut :

- Pasang pelat baja daya dukung di atas kolom-semen dan di atas pelat tersebut.
- Pasang dongkrak hidrolis (*hydraulic jack*) yang dilengkapi dengan arloji pengukuran tekanan.
- Pasang beban sesuai dengan rencana uji beban di atas dongkrak. Dimana dalam penelitian ini menggunakan mobil sebagai beban kontra,
- Lakukan pembebanan dengan beban awal hingga jarum pada arloji ukur bergerak dan catat bacaan pada arloji ukur hingga jarum jam pada arloji ukur tidak bergerak lagi.
- Tambahkan pembebanan kemudian catat bacaan pada arloji ukur.
- Lakukan kembali prosedur 4 hingga tiang mengalami keruntuhan.

Name of project	: Skripsi	Date	: 5/3/2015
Mix design	: OPC+Bentonite (90:10)	Code	: CBS-1A
Komposisi	: 15% Lime	Curing	: 28 days
	: 40% sand		
Dosage rate	: 500 kg/m3	Laboran	:

Dimension of consolidation cell:			
Diameter (cm)	30	Weight of consolidation cell (gram)	
Height (cm)	160	Weight of perforated disk (gram)	
Volume of consolidation cell (cm3)	78511.69	Thick of perforated disk (mm)	

Dimension of injection pipe:			
Diameter (cm)	7.62	Weight of consolidation cell (gram)	
Height (cm)	160	Weight of perforated disk (gram)	
Volume of Injection Pipe (cm3)	7296.605	Thick of perforated disk (mm)	

Moisture content:		Original soil		After add water	
Mass of container (m1)	9.05	8.71	0	0	0
Wet soil + container (m2)	26.69	33.79	0	0	0
Dry soil + container (m3)	10.51	11.01	0	0	0
Mass of dry soil (m3-m1)	1.46	2.30	0	0	0
Moisture loss (m2-m3)	16.15	22.78	0	0	0
Moisture content (w %)	1106.164	990.435	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Average moisture (w %)		1048.3			
Add water to target moisture (%)		57.86442			

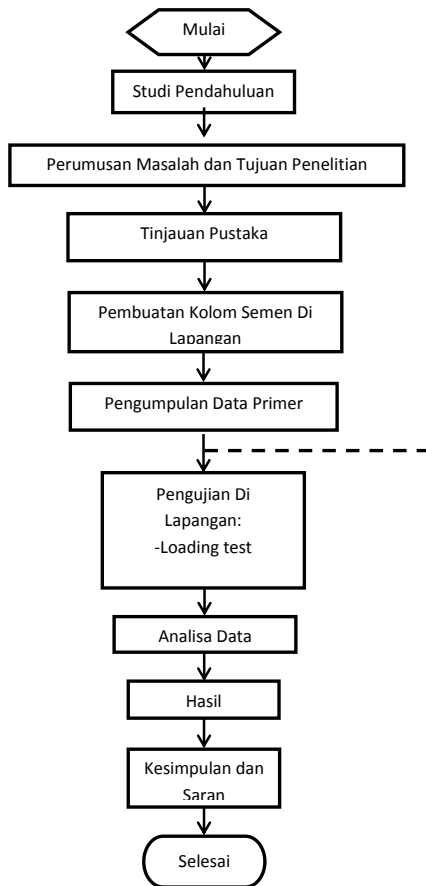
Density	Original	After add water	Aftermixing	Dry Sand
Mass of mould (m1)	71.93	0	0	3995
Mass of mould + wet soil (m2)	123.3	0	0	7469
Soil volume (V)	50.23769	0	0	3066.493
Mass of wet soil (W=m2-m1)	51.370	0	0	3474
Bulk density (W/V) (gr/cm3)	1.023	#DIV/0!	#DIV/0!	1.133
Dry density = (Bulk density)/(1+w)	0.089	#DIV/0!		

Mix design:	Volume additive:
Dosage rate (gr/cm3)	0.5
Mass of additive (gram)	39255.85
Mass of cement (gram)	35330.26
Mass of bentonite (gram)	3925.58
	Density of cement
	Density of bentonite
	Density of Sand
	Density of Lime
	Density of cement
	Density of bentonite
	#DIV/0!
	#DIV/0!

Volume of Lime (cm3)	#DIV/0!	Mass of original soil (gr)	80281.27
Volume of Sand (cm3)	28345.65	Mass of Lime (gr)	12042.19
Volume cell - vol. additive (cm3)	#DIV/0!	Mass of Sand (gr)	32112.51
Water addition to reach target moisture	1106.164%	LL	%
Mass of dry soil (gram)	#DIV/0!	PL	%
Additional water (ml)	#DIV/0!	PI	%

Moisture content after mixing with additive:		Mass of Mix design on injection pipe:	
Mass of container (m1)	0	Volume of Injection Pipe (cm3)	7296.60
Wet soil + container (m2)	0	Volume additive (cm3)	#DIV/0!
Dry soil + container (m3)	0	Injection pipe	#DIV/0!
Mass of dry soil (m3-m1)	0		
Moisture loss (m2-m3)	0		
Moisture content (w %)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Average moisture (w %)	#DIV/0!		

Gambar. 1 Mix Design Kolom-semen



Gambar 2. Alur penelitian

2.6. Cara Pembebanan

Adapun kombinasi pembebanan yang akan dilakukan mengacu kepada ASTM D1143-81, pada *Test Piles Under Static Axial Compressive Load*.

Pembebanan diberikan sebesar 200% dari beban rencana untuk tiang tunggal atau 150% untuk tiap group, dengan cara rate pembebanan *incremental*. Pembebanan diberikan secara kontinyu sebesar 5% dari besarnya beban rencana (*design load*). Pertahankan dimana penurunan yang terjadi tidak boleh lebih dari 0,001 inci (0,25 mm/jam), tetapi tidak boleh lebih dari waktu 2 jam. Apabila tes pile tidak mengalami keruntuhan, maka angkat pembebanan setelah 12 jam, tetapi apabila penurunan yang terjadi tidak lebih dari 0,001 inci (0,25 mm/jam), maka biarkan beban tiang tunggal atau tiang group sampai 24 jam. Setelah seluruh waktu dilaksanakan, maka beban dikurang (*decrement load*) bertahap setiap 25% beban, dengan interval waktu pengurang 1 (satu) jam. Apabila terjadi keruntuhan (*failure*) pada waktu pembebanan maka beban ditambah terus sampai penurunan mencapai 15% dari diameter tiang.

2.7. Analisa Daya Dukung Tiang

1. Interpretasi Daya Dukung Hasil Pembebanan Dalam penelitian ini, perhitungan atau interpretasi data untuk memperoleh batas bebannya dilakukan dengan metode Analitis dan metode Grafis
2. Hasil Dan Analisa Untuk penentuan daya dukung dari interpretasi uji beban dimana data yang diperoleh dari uji beban dengan menggunakan metode *Quick Maintained Load Test Method*, dimasukkan kedalam grafik penurunan versus beban dimana dalam penentuan daya dukung digunakan dua metode.

2.8. Metode Penentuan Daya Dukung Kolom-Semen

2.8.1. Cara Analitis

- a. Metode Meyerhof
- b. Metode Terzaghi
- c. Metode Broms
- d. Metode Hughes dan Withers

2.8.2. Cara Grafis

- a. Metode Elastis Plastis
- b. Metode Chin
- c. Metode Penurunan vs waktu (log t vs z)

2.9. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan seperti terlihat pada Gambar 2.

3. HASIL DAN ANALISA

3.1. Pengujian Sifat Fisis Tanah Asli

Hasil yang diperoleh dari pengujian di laboratorium terhadap sifat fisik tanah gambut asli adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik tanah gambut asli

Parameter fisik tanah	Satuan	Nilai
Kadar air, W	%	1106,164
Berat Volume γ wet	g/cm^3	1
Specific gravity, Gs		1.85

Berdasarkan hasil pengambilan sampel dilapangan dan dilakukan uji laboratorium maka didapat kadar air, W tanah gambut asli sebesar 1106,164 % sedangkan untuk berat volume dan *specific gravity* masing-masing sebesar 1 g/cm³ dan 1,85 untuk *specific gravity*. Pada penelitian ini penulis juga menggunakan hasil data sekunder dari penelitian sebelumnya dimana hasil pengujian laboratorium untuk penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2. Di atas dapat dilihat ada

Tabel 2. Hasil pengujian sifat fisik tanah gambut asli (data sekunder)

Parameter fisik tanah	Satuan	Nilai
Kadar air, W	%	800
Berat volume, γ wet	(g/cm ³)	1.043
Spesific Gravity, Gs		1.310
Liquid limit		149
Plastis limit		112
Plasticity index		37
Shrinkage limit	%	40
Kadar serat	%	85
Lol	%	-
pH		4.65
Von Post Classification		H4-H5

kadar air, W pada data sekunder maupun data asli kadar air yang didapat sangat tinggi dimana pada data sekunder didapat kadar air sebesar 800 %, sedangkan untuk berat volume sebesar 1,043 g/cm³ dan untuk *specific gravity*, Gs sebesar 1,310 dan untuk Liquid limit sebesar 149 dan plastis limit sebesar 112 dengan karena pada proses Atterberg Tanah gambut dioven atau dijemur kemudian dilakukan penyaringan dengan saringan no 40. Berdasarkan *von post classification* dimana H4-H5 dikategorikan sebagai *Hemic/Moderately decomposed* atau *Pseudo fibrous peat*, adalah kadar perubahan sedang dari lautan organik kepada humus (*moderately humified*) dan memiliki karakteristik struktur tanaman yang dari tidak jelas sampai relatif jelas. Biasanya berwarna coklat. Jika contoh gambut diperas dengan tangan, lebih dari setengah tanah gambut akan keluar melalui celah jari tangan. Material tertinggal ditangan kurang lebih adalah konsistensi *mush* tetapi dengan struktur tanaman jelas.

3.2. Pengujian Sifat Mekanis Tanah Gambut Asli

Hasil yang diperoleh dari pengujian di laboratorium terhadap sifat mekanis tanah gambut asli adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Pengujian sifat mekanis tanah gambut asli (data sekunder)

Parameter Mekanik Tanah	Satuan	Nilai
q_u (<i>unconfined</i>)	kg/cm ²	0,11
Kohesi, C	kg/cm ²	0,047
Sudut geser tanah, Φ	°	18
Cc		8,56
Cv	m ² /year	45,30
Cs		0,35
Permeability (<i>k</i>)	m ² /det	3,08E-07

Berdasarkan Tabel.3 data yang didapat untuk pengujian sifat mekanis tanah gambut asli berdasarkan sampel yang penulis ambil dilapangan sedangkan pada penelitian ini sendiri penulis juga menggunakan data sekunder yang digunakan pada penelitian terdahulu.

3.3. Pelaksanaan Lapangan

Sebelum melakukan pelaksanaan di lapangan terlebih dahulu harus dilakukan percobaan terhadap mesin Bor pile agar pada pelaksanaannya alat bisa berjalan dengan baik dan sesuai dengan yang diinginkan.

Pertama melakukan uji terhadap bor pile yang akan digunakan. Setelah melakukan uji terhadap bor pile ternyata ada beberapa komponen bor pile yang harus diperbaiki atau diganti, salah satunya yaitu mata bor (blade) yang berkerja tidak sesuai dengan yang di rencanakan. Dimana pada penelitian ini bor pile digunakan sebagai alat untuk mencampur atau mengaduk campuran bahan kimia (kapur, semen, bentonite, dan pasir) dengan tanah asli di dalam tanah, sehingga perlu melakukan uji coba dan momodifikasi blade yang akan digunakan di lapangan. Selain kendala pada mata bor (blade) kendala lain juga terjadi pada kinerja mesin yang tidak bertenaga disebabkan oleh lamanya mesin tidak dipanaskan setelah penelitian sebelumnya.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan modifikasi mata bor (blade) dengan harapan agar mata bor tersebut tidak merusak mix-design yang telah direncanakan.



Gambar.2. Proses perakitan alat bor pile

3.4. Instalasi Alat Mini Bor Pile

Perakitan rangkaian alat mini bor pile bukanlah merupakan hal yang mudah untuk dilakukan, mengingat alat yang dirakit mempunyai ukuran yang besar dan berat sehingga membutuhkan waktu ± 2 (dua) hari untuk menyelesaikan perakitan dengan menggunakan tiga orang pekerja yang terdiri dari satu orang teknisi alat bor pile dan dua orang pekerja lainnya yang membantu selama proses pekerjaan menunjang pergeseran atau mobilisasi alat di lapangan.

Setelah alat selesai dirakit kemudian dilakukan pengecekan kembali terhadap kondisi alat bore pile tersebut, ternyata setelah mesin bore pile dinyalakan terdapat masalah pada vent pump sehingga dilakukan perbaikan pada vent pump tersebut. Setelah vent pump selesai diperbaiki kemudian dilakukan pengujian kembali terhadap alat bor pile dan ternyata alat bekerja dengan baik.



Gambar.3. Pemasangan casing besi

3.4.1. Pemasangan Casing

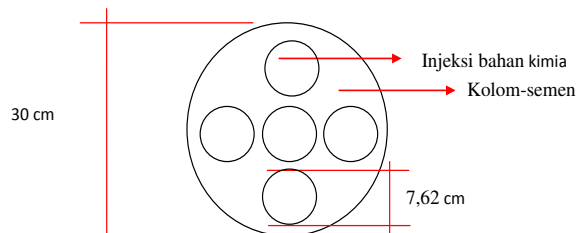
Untuk mencegah adonan *mix-design* tidak tercampur dengan air tanah secara berlebihan maka penulis merencanakan menggunakan casing untuk mencegah air tanah tersebut tidak masuk terlalu banyak kedalam adonan *mix-design* dan casing juga berfungsi untuk membentuk kolom-semen agar hasil yang dihasilkan baik atau mengurangi terjadinya *bulging* (mengembang) meskipun kemungkinan untuk terjadinya *bulging* sangat tinggi pada saat pembebanan nanti casing yang digunakan pertama adalah casing drum, kedua adalah casing pipa dan ketiga adalah casing besi dimana pada akhirnya casing besi lah yang digunakan pada penelitian ini

3.4.2. Penambahan Kapur

Penggunaan kapur dalam penelitian ini berfungsi untuk mengurangi sifat asam pada tanah gambut, kapur yang digunakan pada penelitian kali ini sesuai dengan perhitungan *mix-design* yaitu 12 kg/cm^3 . Proses penginjeksian kapur dilakukan dengan menggunakan bantuan pipa galvanish dan pengadukan sendiri dilakukan dengan menggunakan wadah baskom plastik sebelum kapur dimasukan kedalam baskom terlebih dahulu kapur yang masih berupa bongkahan ditaruh dalam wadah seng.

3.4.3. Pembuatan Bubur Semen

Pembuatan bubur semen dilakukan setelah kolom-semen yang telah kita beri kapur kita biarkan selama 24 jam hal ini berfungsi untuk menetralkan asam dari tanah gambut asli.



Gambar 4. Jumlah injeksi pada tiap satu kolom-

Untuk semen dalam penelitian ini berdasarkan hasil *mix-design* kolom-semen digunakan sebanyak $33,36 \text{ kg/cm}^3$ Dimana semen yang digunakan adalah *portland* semen.

Bentonite yang digunakan sebanyak $3,9 \text{ kg/cm}^3$ dimana Bentonite berfungsi untuk menyerap air yang ada dalam tanah gambut asli. Pasir yang digunakan sebanyak $32,11 \text{ kg/cm}^3$ dimana pasir yang berfungsi untuk mengikat semen agar bisa mengeras. Air yang digunakan untuk ditambahkan dalam campuran mix-design sebanyak 384,6032 ml tetapi penggunaan air bisa dikurangi dengan melihat kondisi tanah yang akan diinjeksi apakah berair atau tidak, untuk air yang digunakan dalam penelitian ini digunakanlah air tanah gambut asli disekitar lokasi penelitian.



Gambar.5. Jumlah injeksi pada tiap satu kolom-

Setelah keempat bahan tadi sudah kita timbang sesuai takarannya langkah berikutnya adalah mencampur keempat bahan tadi kedalam wadah baskom plastik atau pun wadah seng dengan menggunakan sekop apabila terlihat komposisi bahan kolom-semen telah menyatu semuanya langkah berikutnya adalah melakukan injeksi bubur-semen, keempat bahan tadi kita gunakan untuk satu kolom-semen.

3.4.4.. Injeksi Bubur Semen

Untuk injeksi bubur semen sendiri digunakanlah pipa galvanish berdiameter 7,5 cm dan panjang 175 cm dengan tiang conus kayu di dalamnya, dimasukan kedalam tanah sampai kedalaman tertentu sesuai panjang kolom-semen yang ingin kita buat, setelah cukup kedalamannya tiang conus kayu nya kita cabut dari pipa galvanish tersebut dimana conus kayu berfungsi untuk menahan agar tanah asli tidak masuk kedalam pipa galvanish ketika akan dimasukan kedalam tanah, setelah itu kita masukan bubur semen yang telah kita buat sebelumnya setelah bubur semen kelihatan memenuhi pipa galvanish kemudian kita dorong dengan menggunakan tuas piston

bersamaan dengan dicabutnya pipa galvanish dari dalam tanah piston sendiri berfungsi untuk menjaga agar pada saat pipa galvanish ditarik keluar bubur semen tidak ikut meluap keluar, setelah pipa galvanish dicabut kemudian ulangi langkah injeksi dengan memindahkan pipa galvanish ke titik injeksi di sebelah titik injeksi yang telah selesai kita injeksikan untuk satu kolom-semen berisi 5 (lima) titik injeksi kolom-semen.

3.4.5. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Berdasarkan Data Uji Laboratorium

Dimana perencanaan pembebanannya akan dihitung dengan tiga metode yaitu metode Mayerhof dan metode Terzaghi dan metode Broms. Dari ketiga metode tersebut akan didapatkan hasil daya dukung ujung kolom-semen (Q_p) untuk masing-masing pondasi kolom-semen. Selanjutnya hasil dari metode Mayerhof, metode Terzaghi, dan metode Broms akan dilihat hasilnya mana yang terkecil beban daya dukungnya yang kemudian akan digunakan untuk perencanaan pembebanan di lapangan. Karena di dalam pembebanan nantinya menggunakan metode Quick Maintained Load Test Method (QM Test), maka pembebanan dilakukan dengan 10 tahapan hingga mencapai 200% dari beban rencana, dengan setiap interval waktu pembebanan dihitung dari 0 – 1 menit. Mekanisme pembebanannya menggunakan cara pembebanan langsung.

3.5. Daya Dukung Tiang

3.5.1. Kolom-semen tunggal dengan Ø30 cm dengan $D_f = 1,6 \text{ m}$

A. Metode Mayerhof

$$\text{Persamaan : } Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c + \eta \cdot q \cdot N_q)$$

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 30^2 = 706,8583 \text{ cm}^2$$

$$C = 0,0148 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi = 5,95^0 \text{ dari tabel daya dukung mayerhof}$$

$$\text{Didapat } N_c = 6,8415 ; N_q = 1,77$$

$$\gamma = 1,023 \text{ g/cm}^3 = 0,001023 \text{ kg/cm}^3$$

$$D_f = 1,6 \text{ m} = 160 \text{ cm}$$

$$q = \gamma' \cdot D_f$$

$$= 0,001203 \cdot 160 \text{ cm}$$

$$= 0,163168 \text{ kg/cm}^2$$

$$\eta = 1$$

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c + \eta \cdot q \cdot N_q)$$

$$= 706,8583 \times (0,0148 \times 6,8415 + 1 \times 0,16368 \times 1,77)$$

$$= 276,3589 \text{ kg}$$

B. Metode Terzaghi

$$Q_p = A_p \cdot (1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot a \cdot \gamma)$$

Diketahui :

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 30^2 = 706,8583 \text{ cm}^2$$

$$c = 0,0148 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi = 5,95^\circ \text{ : dari tabel faktor daya dukung terzaghi,}$$

$$\text{Didapat } N_c = 7,737 ; N_q = 1,809 ; N_\gamma = 0,633$$

$$\gamma' = 1,023 \text{ g/cm}^3 = 0,001023 \text{ kg/cm}^3$$

$$D_f = 1,6 \text{ m} = 160 \text{ cm}$$

$$B = 30 \text{ cm}$$

$$Q = \gamma' \cdot D_f$$

$$= 0,001203 \times 160 = 0,16368 \text{ kg/cm}^2$$

Maka :

$$Q_p = A_p \cdot (1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot A_\gamma)$$

$$= 706,8583 \cdot (1,3 \cdot 0,0148 \cdot 7,737 + 0,16368 \cdot 1,809 + 0,001203 \cdot 30 \cdot 0,633 \cdot 0,3)$$

$$= 323,2599 \text{ kg}$$

C. Metode Broms

$$\text{Persamaan : } Q_{\text{ult}}^{\text{col}} = (\pi B L_{\text{col}} + 2,25 \pi B^2) \times c_u$$

Diketahui :

$$B = 30 \text{ cm}$$

$$L_{\text{col}} = 160 \text{ cm}$$

$$c_u = 0,0148 \text{ kg/cm}^2$$

Maka :

$$Q_{\text{ult}}^{\text{col}} = (\pi \times 30 \times 160 + 2,25 \times \pi \times 30^2) \times 0,0823$$

$$= 317,171 \text{ kg}$$

D. Perhitungan kolom-semen menurut Hughes dan Withers

Pada perhitungan kolom-semen panjang $L > 4B$, dilakukan dengan anggapan bahwa bulging (pengembangan) terjadi pada seluruh panjang kolom-semen. Perhitungan daya dukung batas dilakukan dengan menghitung besarnya tegangan pasif (σ_3) yang bekerja pada kolom-semen dapat dihitung dengan teori cavity expansion.

$$\sigma_3 = \sigma_{ro} + c \times \left[1 + \ln \frac{E_c}{2c(1 + \nu)} \right]$$

Dimana : σ_{ro} = Total tegangan horisontal ($\sigma_{ro} = k_o \cdot \sigma_v$)

$$k_o = 1 - \sin \varphi = 0,896$$

$$\sigma_v = \gamma_c' \cdot z = 1 \cdot 1,60 = 1,60$$

$$\gamma_c' = \text{Berat Volume tanah lunak } (\gamma_c' = 1 \text{ kg/cm}^3)$$

$$z = \text{Kedalaman tanah lunak yang ditinjau}$$

(1,60 m)

$$E_c = \text{Modulus Elastisitas Tanah } (= 10 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\nu = \text{Angka poisson tanah } (\nu = 0,2 - 0,5)$$

$$c = \text{Kuat geser tanah } (c = 0,0148 \text{ kg/cm}^2)$$

Maka hasil yang didapat dari perhitungan tersebut sebesar 326,216 Kg

Berdasarkan rangkuman hasil daya dukung diatas dapat dilihat ketiga metode memberikan hasil yang tidak terlalu jauh dimana Meyerhof

memberikan kapasitas daya dukung terkecil sebesar 276,36 kg, Terzaghi 323,60 kg dan Broms 317,171 sedangkan untuk Hughes dan Withers sebesar 326,216 kg. Tetapi untuk Meyerhof dan Terzaghi tidak meninjau segi keruntuhan dari dua sudut seperti Broms dimana metode Broms meninjau keruntuhan yang terjadi pada tanah asli (*soil failure*) dan pada kolom (*column failure*), maka metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Broms.

Kedalaman (cm)	Group tiang	Efisiensi (η)	Daya Dukung (Q_p)		Beban Rencana (200% Q_p rata-rata) (kg)
			Tiang Tunggal (kg)	Tiang Kelompok (kg)	
160	3	2,07	317.1710	656.5440	1313.0879

Gambar.8. Kapasitas daya dukung kolom-semen grup cara analitis menurut Broms

3.5.2. Kolom-semen grup dengan tiga kolom semen Ø30 cm dengan $D_f = 1,6 \text{ m}$

Berdasarkan hasil perhitungan kolom-semen tunggal metode yang digunakan untuk perhitungan kapasitas daya dukung adalah metode Broms dan untuk perhitungan kapasitas daya dukung kolom-semen grup ini dimana cara yang digunakan adalah metode efisiensi grup kolom semen berdasarkan metode Broms.

Tiga Group, $D_f = 160 \text{ cm}$

$$\eta = E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

Dengan :
 η = Efisiensi kelompok kolom
 θ = arc tg d/s, dalam

No	Diameter (ϕ)	Kedalaman (DF)	Daya dukung (q_p)				QP rata-rata (Kg)	200% QP rata-rata beban terkecil (Kg)
			Meyerhof (Kg)	Terzaghi (Kg)	Broms (Kg)	Hughes dan Withers (Kg)		
1	30	160	276,36	323,60	317,171	326,216	310,8975	624,342

Gambar.6. Jumlah injeksi pada tiap satu kolom-semen

derajat

m = Jumlah baris kolom

n = Jumlah kolom dalam satu baris

D = Diameter tiang

s = Jarak pusat ke pusat tiang

Diketahui :

$$s = 45 \text{ cm} = 1,5 D$$

$$\begin{aligned}
m &= 1 \\
n &= 2 \\
D &= 30 \text{ cm} \\
\Theta &= \text{arc tg } 30/45 = 33,69^\circ \\
\eta &= 1 - 33,69 \frac{(2-1)^1 + (1-1)^2}{90.1.2} = 2.07 \\
Q_p &= 317.171 \text{ (Beban rencana metode Broms)} \\
Q_{ap} &= Q_p \times \eta \\
&= 317.171 \times 2,07 \\
&= 656.544 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

Perencanaan kolom-semen grup jarak tiang adalah 1,5 D atau 45 cm dengan jumlah baris tiang $m = 1$ dan jumlah tiang dalam baris $n = 2$ dengan diameter tiang sebesar 30 cm dan kedalaman 160 cm dengan daya dukung kolom-semen tunggal sebesar 317.171 kg dengan dikalikan jumlah efisiensi sebesar 2,07 maka daya dukung grup kolom semen sebesar 656.544 kg dengan beban rencana 200 % Q_p rata rata sebesar 1313,0879 kg.

3.6. Loading Test Kolom-Semen

Penelitian dilakukan pada tanah asli di lokasi penelitian dengan menggunakan pelat *Bearing* berdiameter 30 cm untuk kolom semen tunggal sedangkan untuk kolom semen grup tiga kolom menggunakan plat bearing berukuran besar.

Hal pertama yang dilakukan adalah meletakkan meja loading test tepat ditengah as kolom semen kemudian menentukan titik pemasangan anker berdasarkan posisi meja loading test yang telah diletakan sebelumnya pada awal percobaan penulis menggunakan empat anker dan jika alat tidak kuat menopang beban makan penulis menambah anker atau kayu cerucuk untuk memperkuat meja beban atau alat loading test, setelah anker terpasang proses berikutnya adalah meletakkan pelat bearing diameter 30 cm tepat di kolom semen yang akan di

Kolom Tunggal	Kolom grup	Jarak kolom (s)	Jumlah sampel	diameter tiang (\emptyset/B)	Efisiensi (η)
		(cm)		(cm)	
-	3 kolom	45	1	30	2.07
1 kolom	-	-	-	30	-
1 kolom	-	-	-	30	-

Gambar.7. jumlah kolom-semen yang dibuat sebanyak 5 kolom semen tunggal dengan tiga kolom sebagai grup dan dua kolom tunggal bebani.

Setelah pemasangan pelat bearing dan jack hidrolik selesai langkah berikutnya adalah melihat jarak antara jack dan meja loading test jika jack belum menyentuh bagian tengah dari meja beban maka dilakukan penambahan besi diatas pelat bearing sampai jack hidrolik menyentuh bagian tengah meja beban Setelah jack hidrolik menyentuh meja beban langkah berikutnya adalah memasang selang horse pada pompa hidrolik ke jack hidrolik dimana pada pompa ini terpasang manometer yang berfungsi menandakan jumlah beban yang akan kita bebankan ke kolom semen kemudian setelah terpasang maka dilakukanlah pengaturan dial yang berfungsi untuk menghitung besarnya penurunan dalam penelitian ini penulis menggunakan dial dengan pembacaan maksimal 5 cm atau 5000 psi, sedangkan syarat keruntuhan terjadi apabila pembacaan mencapai angka 3,5 cm atau 3500 psi, selesai pembebanan kemudian data dari hasil pembacaan loading test diolah menggunakan dua metode yaitu Analitis dan Grafis dimana akan dilihat metode mana yang paling sesuai untuk digunakan baik untuk metode Analitis maupun metode Grafis.

Metode yang digunakan untuk perhitungan secara Analitis adalah metode perhitungan secara Meyerhof, Terzaghi, metode Broms dan Metode Hughes dan Withers, sedangkan untuk perhitungan dengan cara Grafis metode yang digunakan adalah metode penurunan vs waktu ($\log t$ vs z), metode analisa beban batas dengan cara Elastis-plastis dan yang terakhir adalah metode grafis dengan perhitungan beban batas metode Chin dimana kemudian akan ditarik kesimpulan metode manakah yang paling tepat untuk digunakan baik metode analitis maupun metode Grafis.



Gambar 9. Alat loading Test

3.7. Hasil Perhitungan Beban Batas Dengan Metode Analitis dan metode Grafis

Hasil perhitungan beban batas dengan metode Analitis dan Grafis dapat dilihat pada Tabel 4.12 dimana hasil perhitungan ini sendiri terdiri dari perhitungan beban tanah asli, perhitungan beban batas kolom-semen tunggal dan perhitungan beban batas kolom-semen grup.

3.7.1. Analisa Data

Terlihat bahwa perhitungan daya dukung batas kolom-semen menurut Meyerhof dan Terzaghi serta Hughes dan Withers menghasilkan harga yang rendah dibandingkan perhitungan beban batas menggunakan teori log t vs z, elastis plastis dan Chin.

Teori Broms yang merupakan perhitungan untuk kolom-semen juga memberikan hasil yang cukup rendah dibandingkan dengan perhitungan secara grafis hal ini disebabkan oleh penambahan dosage mix design kolom semen dimana hal tersebut memberikan penambahan kekuatan beban batas kolom-semen, tetapi secara teori cara Broms yang digunakan sebagai metode untuk perhitungan kolom-semen memberikan hasil yang lebih baik karena pada perhitungan ini keruntuhan ditinjau dari dua posisi ,apakah keruntuhan terjadi pada tanah asli atau keruntuhan terjadi pada kolom-semen .

Mengingat harga kuat geser undrained tanah asli (c_u) kecil harganya, maka harga daya dukung batas kolom-semen akan kecil akibat terjadi keruntuhan kolom-semen pada tanah asli. Pada penelitian ini kolom-semen yang dibuat adalah kolom-semen panjang dimana keruntuhan yang

terjadi keruntuhan pada material kolom-semen (*Column Failure*).

Untuk metode perhitungan secara grafis penulis menggunakan pertimbangan untuk menggunakan grafik-grafik diatas dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Metode Penurunan vs waktu atau JASFS merupakan metode yang mudah dilakukan pengamatan terhadap perilaku model keruntuhan dimana kurva hubungan logaritma waktu (t) terhadap penurunan, harus menunjukkan polanon linier pada waktu beban batas terlampaui.
2. Metode Elastis-plastis banyak dilakukan dalam interpretasi beban batas akibat beban aksial terhadap pondasi tiang, dan dapat memberikan hasil yang baik.
3. Metode Chin, metode ini dapat dipakai membuat prediksi beban batas pondasi Dengan hanya mengetahui beberapa pembebanan saja seandainya koefisien arah m sudah didapatkan.

Berdasarkan ketiga metode diatas metode yang paling baik untuk perhitungan beban batas kolom-semen adalah metode Elastis-plastis karena metode ini mengambil beban batas tepat diarah plastis kolom-semen tersebut sehingga beban batas yang dihasilkan kecil, sedangkan metode Chin mengambil beban batas maksimal sehingga angka perhitungan yang didapat sangat besar, jadi kesimpulan yang diambil dari perhitungan dengan metode analitis dan grafis diatas adalah untuk penggunaan metode analitis untuk menghitung keruntuhan kolom-semen metode yang sangat tepat digunakan adalah metode Broms dimana keruntuhan ditinjau dari dua sisi yaitu keruntuhan dari sisi tanah atau *soil failure* dan keruntuhan dari sisi kolom atau *column failure* sedangkan untuk Mayerhof dan Terzaghi lebih tepat digunakan untuk perhitungan tiang yang mempunyai kekerasan dan kekokohan melebihi kolom-semen dan untuk metode Grafis lebih tepat digunakan Elastis-plastis karena keruntuhan yang diambil tepat di titik plastis kolom-semen sehingga beban batas yg dihasilkan kecil.

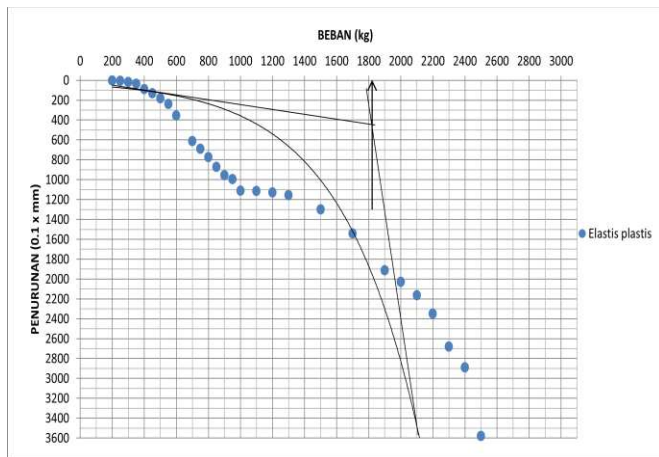
Dari hasil interpretasi daya dukung batas metode Elastis-plastis untuk kolom tunggal tipe A sebesar 790 kg, tipe B kolom-semen tunggal sebesar 820 kg

No	Model Tes	Stabilisasi (cm)	Daya Dukung Batas Kolom-semen						
			Meyerhof	Terzaghi	Broms	Hughes & Withers	Log t vs z	Elastis Plastis	Chin
1	Tanah Gambut Asli	160 cm	-	-	-	-	550 kg	520 kg	1000 kg
2	Kolom-semen tunggal (A)	160 cm	276.3589 kg	323.2599 kg	317.171 kg	326.216 kg	850 kg	790 kg	1000 kg
3	Kolom-semen tunggal (B)	160 cm	276.3589 kg	323.2599 kg	317.171 kg	326.216 kg	900 kg	820 kg	1000 kg
4	Kolom-semen grup	160 cm	-	-	656.544 kg	-	2100 kg	1900 kg	2777 kg

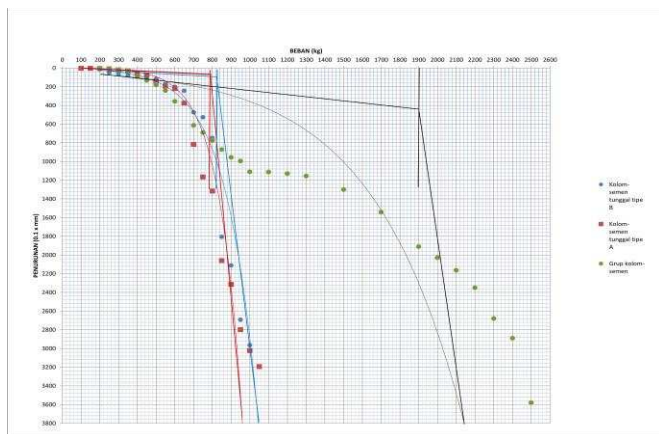
Gambar 8. Hasil perhitungan beban batas dengan metode analitis dan grafis

terjadi pada tanah asli (*soil failure*) akan terjadi pada kolom-semen dengan prosentase campuran semen yang tinggi. Pada kolom-semen panjang dengan prosentase campuran semen rendah akan

Hasilnya dapat dilihat pada grafik. Dari hasil interpretasi daya dukung batas kolom-semen grup metode grafis dilakukan hanya satu titik saja dengan metode Elastis-plastis dan didapatkan daya dukung batas sebesar 1900 kg. Hasilnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini



Gambar.10. Grafik beban batas kolom-semen grup metode Elastis-plastis



Gambar 11. Grafik analisa beban batas kolom-semen tunggal dan grup

Perbandingan grafik Elastis-plastis antara kolom-semen tunggal tipe A dan tipe B dengan kolom-semen grup 3 kolom dengan diameter 30 cm dan panjang 160 cm dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Berdasarkan Gambar 9, 10, dan 11 di atas yang merupakan grafik beban batas kolom-semen tunggal dan kolom-semen grup dimana beban yang dihasilkan masing-masing untuk kolom-semen tunggal tipe A sebesar 790 kg dan untuk kolom-semen tunggal tipe B daya dukung batasnya sebesar 820 kg sedangkan untuk kolom-semen grup dimana kolom-semen grup yang dibuat

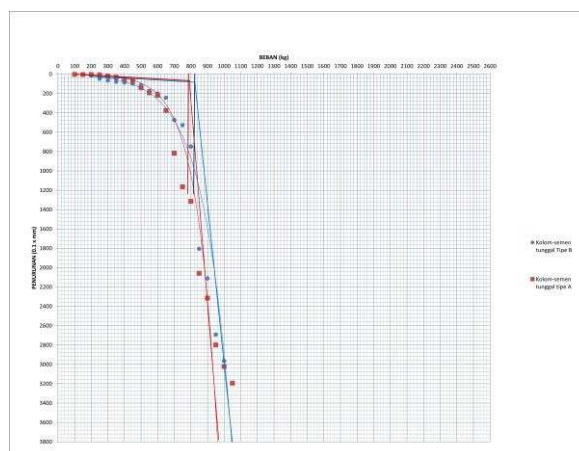
berisi 3 kolom-semen tunggal maka beban batas yang dihasilkan sebesar 1900 kg.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan mengenai daya dukung kolom semen pada tanah lunak di kota Pontianak diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Stabilisasi dengan injeksi material stabilisasi pada tanah lunak ternyata dapat dikerjakan dengan cepat dan mudah didalam proses pengerjaannya dan memberikan hasil yang lebih baik terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lunak.
2. Besarnya beban batas model pondasi tergantung dengan pemakaian semen, dengan bertambahnya pemakaian semen mempunyai kecenderungan dapat menaikkan daya dukung batas model pondasi.
3. Pembuatan kolom semen dengan *dosage* 500 kg/m³ kolom semen terbentuk dengan hasil yang lebih baik sedangkan untuk *dosage* 300 kg/m³ kolom-semen tidak terbentuk dengan sempurna
4. Pondasi kolom-semen sebaiknya menggunakan kolom-semen panjang agar didapat harga daya dukung batas yang lebih besar, mengingat besarnya gesekan antara tanah dengan dinding kolom-semen lebih menentukan harga daya dukung batas pondasi.
5. Casing sangat berguna untuk mencegah agar adonan mix design tidak meluber Keluar didalam tanah.



Gambar 9. Grafik Beban batas kolom-semen tunggal tipe A dan tipe B

6. Perhitungan daya dukung dengan cara Analitis metode yang tepat digunakan adalah metode Broms dengan hasil perhitungan untuk kolom semen tunggal sebesar 317,171 kg dan untuk kolom-semen grup 3 kolom dengan nilai sebesar 656,544 kg.
7. Perhitungan daya dukung dengan cara metode Grafis metode yang tepat digunakan adalah Metode Elastis-plastis dimana untuk kolom semen tunggal tipe A sebesar 790kg dan untuk tipe B sebesar 820 kg. Daya dukung batas yang digunakan dalam perencanaan diambil nilai terkecil yaitu 790 kg dan
8. Perhitungan daya dukung batas kolom-semen grup dengan tiga kolom-semen Menggunakan metode Grafis Elastis-plastis sebesar 1900 kg.

4.2. Saran

Penelitian kolom-semen belum banyak dilakukan pada tanah lunak khususnya di Kalimantan Barat , untuk mendapatkan hasil yang lebih baik perlu diberikan saran sebagai berikut :

1. Dilakukan pembuatan model tes pondasi lebih banyak untuk setiap variabel jumlah campuran kolom-semen dan kedalaman pondasi , dengan harapan diperoleh data yang cukup untuk membuat analisis daya dukung batas.
2. Penggunaan air pada pembuatan bubur semen harus dilakukan seminimal mungkin untuk mencegah terjadinya pengaliran air (*bleeding*) ke lapisan tanah disekitar kolom-semen.
3. Peralatan untuk uji beban langsung dilapangan harus mempunyai ketelitian ukuran yang tinggi, hal ini dilakukan untuk menghindari pergeseran posisi platform pemikul beban yang dapat menimbulkan eksentrisitas terhadap titik berat pondasi.
4. Sebaiknya pengerjaan pembuatan kolom-semen dikerjakan tidak pada saat musim penghujan karena dapat menyebabkan air didalam tanah sangat tinggi
5. Pada saat mau memulai pengeboran harap di cek kondisi alat bored pile terutama pada bagian kabel *hoose* dan *vent pump* karena dapat mempengaruhi kinerja alat bor pile terutama proses pengangkatan casing.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aisamudin, G., 2012, "Studi Daya Dukung Pondasi Kolom Semen Di Kota Pontianak", Skripsi Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [2] Alwi, A., 2009, "Karakteristik Tanah Lempung Di Kota Madya Pontianak", Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [3] Alwi, A., 1996, "Studi Daya Dukung Pondasi Pelat Lingkaran Pada Tanah Lunak Dengan Stabilisasi Semen Pada Tanah Di Bawah Pondasi" Tesis , Fakultas Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.
- [4] ASTM D 1143-81., 1981, "Standard method or testing piles under static axial compressive load".
- [5] ASTM D 2607-69., 1989, "Classification of peats, mosses, humus, and related products".
- [6] Benyamin, B., 2011, "Kajian Sifat Kimiawi pada Tanah Gambut Tropis Pontianak" Skripsi, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura
- [7] Bowles, J.E., 1984, "Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah", Edisi kedua, Jakarta: Erlangga.
- [8] Broms. B., 1984, "Stabilization of soil with lime columns", Design Handbook Third Edition.
- [9] Das, Braja. M., Endah Noor., dan Mochtar, Indra Surya. B., 1995, "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)", Jilid 1 dan 2. Jakarta: Erlangga.
- [10] Eko Afrianto, B., 2011, "Daya Dukung Pondasi Tiang Tongkat Di Tanah Gambut Kota Pontianak Berdasarkan Hasil Loading Test" Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak.

- [11] Sardjono H.S., 1991 “ pondasi Tiang Pancang ” jilid 1-2, cetakan ke- 2 Sinar Wijaya, Surabaya, hal.8.1

- [12] Kelana, C., 2011, “Perubahan Karakteristik Tanah Gambut Kalimantan Barat Akibat Penambahan Kapur dan Pasir”, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura

- [13] Kurnia, S., 2012 “Studi Karakteristik Material Kolom-semen Pada Tanah Lunak Di Kota Pontianak’, Skripsi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura

- [14] Rusmita, M., 2006, “Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah (Tanah Sangat Lunak Pontianak)” Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak.

- [15] Trisna, F., 2011, “Perbaikan Subgrade Pada Konstruksi Jalan Menggunakan Bahan Campuran Kimiawi” Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak.

- [16] Van De Meene., 1984, ”Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian-Malyasin Lowlands”, Bulletin Geological Research and Development centre, 9, 20-31.