

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI FONDASI BANGUNAN AIR DI TANAH GAMBUT

FOUNDATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF HYDRAULIC STRUCTURE ON PEAT SOIL

Mahdi Ibrahim Tanjung¹⁾, Nurlia Sadikin²⁾, Dery Indrawan³⁾

^{1,2,3)}Peneliti Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian PU-Pera
Jl. Ir. H. Djuanda No. 193, Bandung - 40135
E-mail: n.sadikin@gmail.com

Diterima: 23 Juni 2017; Direvisi: Juli 2017; Disetujui: 18 November 2017

ABSTRAK

Banyak bangunan air di Indonesia berdiri diatas tanah gambut, terutama di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Tanah ini memiliki karakteristik geoteknik yang buruk sebagai fondasi bangunan, karena kuat gesernya rendah, potensi penurunannya besar dan berlangsung dalam jangka panjang. Salah satu cara mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan pondasi tiang. Oleh karenanya, dilakukan penelitian teknologi alternatif pondasi bangunan air di tanah gambut dengan menggunakan cerucuk, tiang pasir dan tiang beton. Pengembangan teknologi ini dilakukan melalui investigasi geoteknik dan pemodelan numerik. Penggunaannya dapat menjadi lebih efektif saat tegangan timbunan terdistribusi secara merata tidak terkonsentrasi di tengah tanggul. Pencarian alternatif fondasi mengerucut pada efisiensi desain struktur fondasi dan metode pelaksanaan. Efisiensi yang artinya tujuan tercapai, ekonomis dan berdaya guna. Hasil model fisik menunjukkan kapasitas daya dukung cerucuk tidak meningkat signifikan dalam setiap pertambahan panjangnya, peningkatan justru terjadi saat ujung cerucuk masuk kedalam lapisan tanah mineral dibawah lapisan gambut. Tipe fondasi tiang beton yang dicor ditempat memberikan kapasitas daya dukung lebih dari 4 kali kapasitas cerucuk, sedangkan kombinasi cerucuk dengan selimut pasir hanya meningkatkan kapasitas 2 kali dari cerucuk, dan tiang pasir diselimuti paralon memiliki daya dukung hampir sama dengan cerucuk. Berdasarkan hal tersebut, tipe fondasi tiang beton dicor di tempat dapat menjadi alternatif pengganti cerucuk.

Kata kunci: Gambut, fondasi tiang, cerucuk, tiang beton, bangunan air

ABSTRACT

Many hydraulic structures in Indonesia are built on peat soil, especially in Sumatra, Kalimantan and Papua. This soil has bad geotechnical characteristic for building foundation, because its low of shear strength, high potential of land subsidence and consolidation occurred in a long term. One way to overcome this issues is using pile foundation. Therefore, a research was conducted in order to found foundation technology of hydraulic structure for peat soil using "cerucuk", sand pile and concrete pile. This development of technology being conducted using geotechnical investigation and numerical modeling. The usage would be more effective when embankment strain is distributed evenly and not concentrated on the center of embankment. The search of alternative foundation is narrowed to the efficiency of the foundation design and the methods of implementation. Physical model results show that support capacity of the pile did not significantly increased in every increment in length, the increase instead happened when the tip of the pile deep in mineral soil layer below the peat layer. The foundation type made of concrete firmly in place give a supporting capacity 4 times compared to pile, while combination of pile with sand increase the pile supporting capacity to 2 times only, and pile of sand covered with PVC pipe has a supporting power that is almost the same with pile. Based on that, the concrete foundation type casted in place can be substitute alternative for pile.

Keywords: Peat, foundation, pile, concrete pole, hydraulic structure

PENDAHULUAN

Tanah gambut tersebar di wilayah Indonesia terutama di pulau-pulau besar seperti Sumatera, Kalimantan dan Papua. Tanah gambut memiliki karakteristik geoteknik yang buruk untuk fondasi bangunan, dimana kuat gesernya rendah, potensi penurunannya besar dan mengalami penurunan dalam jangka panjang. Karakteristik geoteknik yang buruk ini mengakibatkan banyak potensi masalah yang muncul pada bangunan air diatas tanah gambut.

Salah satu teknologi fondasi di tanah gambut yang umum dilakukan dalam mengatasi permasalahan geoteknik tersebut adalah fondasi tiang. Tetapi teknologi ini dinilai terlalu mahal untuk tipe bangunan yang kebanyakan merupakan struktur kecil seperti *shiplock* dan tanggul. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian teknologi pondasi bangunan air di tanah gambut yang efektif dan relatif murah bagi struktur kecil.

Lahan gambut merupakan lahan dengan parameter tanah yang buruk, sehingga konstruksi yang dibangun di lahan gambut memerlukan biaya besar. Keterbatasan dalam pemilihan material yang ada di sekitar lokasi juga menjadi kendala pada bangunan air yang akan dibangun di daerah lahan gambut. Peningkatan pengetahuan dalam hal fondasi di lahan gambut pada hakikatnya dapat meningkatkan fungsi dari bangunan air yang dibangun di atas lahan tersebut.

Penentuan alternatif fondasi dengan pembuatan model fisik fondasi di tanah gambut bertujuan untuk mendapatkan suatu pengembangan alternatif fondasi dalam memperbaiki dan mengurangi penurunan bangunan air di tanah gambut.

KAJIAN PUSTAKA

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 71 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut, gambut adalah material organik yang terbentuk secara alami dari sisa-sisa tumbuhan yang terdekomposisi tidak sempurna dan terakumulasi pada rawa.

Gambut memiliki karakteristik yang unik dibandingkan tanah lunak pada umumnya, hal ini dicerminkan oleh parameter teknik gambut yang unik, baik pada parameter indeks kompresi, kadar air, angka pori, dan permeabilitasnya.

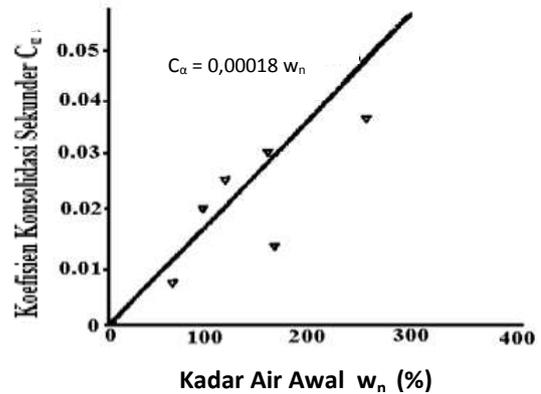
Kompresibilitas

Indeks kompresi (C_c) pada tanah gambut relatif besar dibandingkan tanah lunak lainnya,

dimana penggunaan persamaan empirik untuk tanah lunak akan menghasilkan nilai yang tidak konservatif. Nilai C_c gambut dapat mencapai 5 – 10 sedangkan pada lempung hanya berkisar 0,2 – 0,8. Azzouz dkk (1976) memberikan hubungan indeks kompresi terhadap kadar air dalam persen untuk tanah organik dan gambut sebagai $C_c = 0,0115 w_n$, dengan w_n adalah kadar air alami (%).

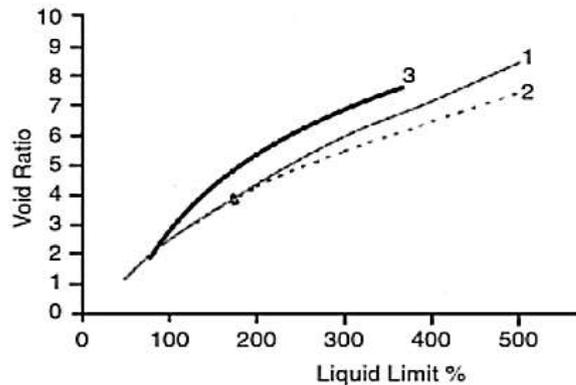
Farrell dkk (1994) mengindikasikan hubungan antara koefisien konsolidasi sekunder (C_{α}) hasil laboratorium dan w_n dapat dilihat pada Gambar 1, sebagai berikut:

$$C_{\alpha} = 0,00018 w_n$$



Gambar 1 Koefisien konsolidasi sekunder (C_{α}) vs Kadar air awal (w_n) (Farrell dkk, 1994)

Angka pori gambut dapat berkisar 9 untuk gambut amorphous dan sampai 25 pada gambut fibrous. Angka pori yang tinggi akan berpengaruh terhadap tingginya kadar air (Gambar 2). Tingginya angka pori alami gambut menunjukkan tingginya kapasitas kompresi.



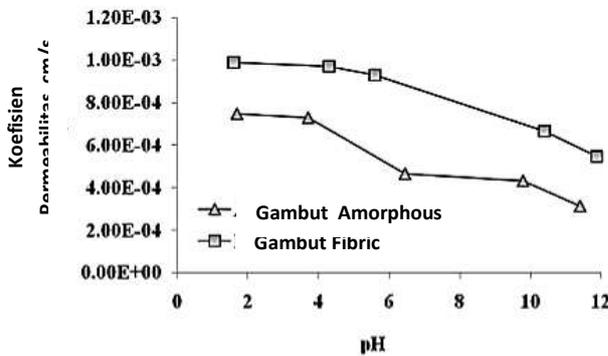
Sumber: Al-Raziqi dkk, 2003

Gambar 2 Batas cair vs angka pori; Garis 1: Miyakawa (1960), Garis 2: Skempton&Petley (1970) dan Garis 3: Tropical Peat.

Permeabilitas

Susunan partikel seperti serat dan butiran kasar pada tanah gambut sangat berpengaruh terhadap ukuran dan kemenerusan pori, hal ini mengakibatkan permeabilitas gambut memiliki rentang yang besar. Gambut amorphous dengan sifat koloid yang tinggi cenderung memiliki permeabilitas rendah dibanding gambut fibrous. Faktor dominan yang berpengaruh terhadap permeabilitas lainnya adalah tingkat kepadatan (derajat konsolidasi) dan tingkat pembusukan. Kedua faktor tersebut dapat berubah seiring waktu dan menyebabkan perubahan terhadap permeabilitas. Pada kondisi alami, gambut dapat memiliki permeabilitas setinggi pasir yaitu berkisar 10^{-3} sampai 10^{-2} cm/s. Permeabilitas turun drastis ketika diberi beban, turun hingga ke level lanau atau lempung yaitu 10^{-6} – 10^{-7} cm/s atau bahkan lebih rendah. Biasanya, khusus untuk gambut fibrous, permeabilitas horizontal lebih besar dari arah vertikal dalam 1 orde atau lebih (Dhowian dan Edil, 1980).

Asadi dkk (2011) melakukan investigasi pengaruh pH terhadap permeabilitas pada tanah gambut tropis dalam kondisi laboratorium, hasil penelitiannya menemukan bahwa pada gambut amorphous dan fibrous, permeabilitas meningkat berbanding terbalik dengan pH (Gambar 3).



Gambar 3 Pengaruh pH pada permeabilitas (Asadi dkk, 2011)

Alternatif Fondasi

Lima metode solusi fondasi pada tanah lunak yang juga dapat diaplikasikan pada tanah gambut adalah :

- 1 Penggantian material (*Replacement*)
- 2 Bahu Beban Kontra (*Counterweight Berms*)
- 3 Pembebanan (*Surcharging*)
- 4 Konstruksi Bertahap (*Staged Construction*)
- 5 Penggunaan Material ringan (*Use of Light Material*)

Keunggulan dari masing-masing metode dicantumkan pada Tabel 1. Solusi yang tercantum

dalam table tersebut, dapat dikombinasikan dengan metode perbaikan tanah seperti:

- a) Fondasi Tiang (Tiang Beton, Cerucuk, dll)
- b) Matras (Geotekstil, Matras Bambu, Stabilitas Dangkal, dll).

Tabel 1 Keunggulan Jenis Perbaikan Tanah (Panduan Geoteknik 4, 2001)

Metode Solusi	Meningkatkan Stabilitas	Mengurangi Penurunan Pasca Konstruksi
Penggantian Material	Ya	Ya
Bahu Beban Kontra	Ya	
Penambahan Beban		Ya
Konstruksi Bertahap	Ya	
Penggunaan Material Ringan	Ya	Ya

DESAIN MODEL FISIK

KONDISI GEOTEKNIK LOKASI MODEL FISIK

Kegiatan Teknologi Fondasi Bangunan Air di Tanah Gambut melakukan investigasi geoteknik lapangan di Desa Tumbang Nusa, Kecamatan Jabiren Raya, Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah. Lokasi tepatnya berada pada koordinat S 2,376289°, E 114,1225°, ±30 km dari Palangkaraya menuju Banjarmasin. Lokasi penelitian berjarak 2,7 km dari Sungai Kahayan (Gambar 4).



Gambar 4 Lokasi Kegiatan (Google Earth)

Jumlah pengujian dalam investigasi geoteknik lapangan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- a) 15 titik sondir tangan (HS) masing - masing sedalam 9 m, jarak antar titik berkisar 10 m.
- b) 2 titik piston sampler (PS) masing – masing 11 m.
- c) 1 titik test pit(TP) sedalam 1 m
- d) 2 titik permeabilitas
- e) 2 titik pengujian pH meter

Denah pengujian dan dokumentasi pada saat pelaksanaan investigasi lapangan dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5 Denah Pengujian Lapangan

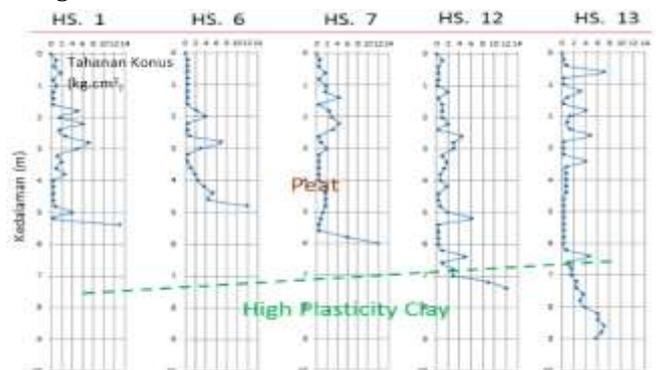
Uji laboratorium yang dilakukan, adalah:

- a) Berat jenis tanah (SNI 1964:2008).
- b) Batas-batas Atterberg; Batas cair (SNI 03-1967-1990) dan Batas plastis (SNI 03 1966-1990).
- c) Kadar air, kadar abu dan bahan organik (SNI 13-6793-2002).
- d) Kadar serat (SNI 13-6794-2002).
- e) Konsolidasi tanah satu dimensi (SNI 2812:2011).
- f) Permeabilitas dengan tinggi tekan tetap (SNI 13-6800-2002).
- g) *Vane Shear* Laboratorium.

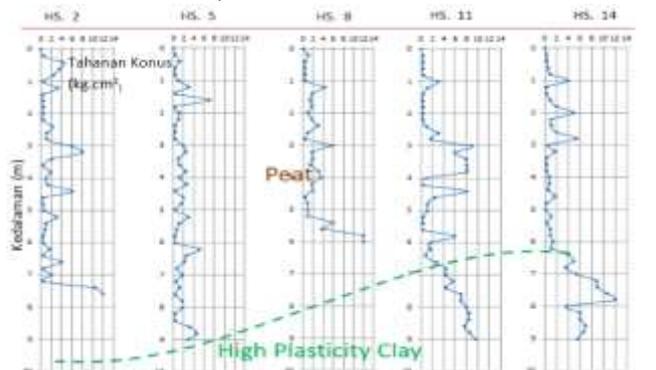
Dari interpretasi sondir perkiraan kedalaman gambut adalah 6,4 - 9 m, mendekati ke arah jalan semakin tebal. Tidak semua titik mencapai lapisan lempung di bawah gambut karena terhalang oleh akar/kayu dalam tanah. Penentuan kedalaman gambut berdasarkan sondir merupakan hal yang sulit terutama apabila jumlah titiknya terbatas. Berdasarkan pengalaman di lapangan, ujung sondir lebih sering terhalang oleh akar atau

batang tanaman dibandingkan lolos sampai lapisan tanah berikutnya. Oleh karena itu dalam menentukan kedalaman gambut dalam penelitian ini interpretasi sondir tangan dikombinasikan dengan *piston sampler log*. Apabila akar atau batang tanaman tidak terlalu besar dan keras maka ujung konus masih dapat menembus bacaan konus sampai dengan kurang dari 11 kg/cm², lebih dari itu sulit untuk menembus halangan pada tanah gambut.

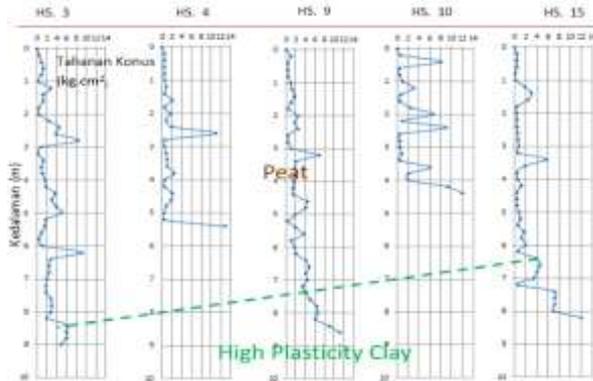
Bacaan ujung konus pada lapisan gambut dengan manometer kapasitas 15 kg/cm² hampir tidak terbaca, sehingga diperlukan manometer yang lebih sensitif atau menggunakan transduser tekanan. Bacaan lebih dari 2 kg/cm² umumnya hanya gejala lokal yang dipengaruhi oleh serat organik, angka ini menjadi batas lapisan gambut dengan lapisan tanah lainnya dengan bacaan konsisten relatif meningkat secara perlahan. Bacaan konus yang mengalami peningkatan secara tiba-tiba melebihi 11 kg/cm² perlu dicurigai bahwa ujung konus terhalang oleh akar atau batang tanaman keras. Lompatan-lompatan bacaan konus yang terhalang oleh serat organik umumnya hanya memiliki tebal ±20 cm, setelah itu bacaan akan kembali mengecil bahkan terkadang hampir tidak terbaca. Kondisi seperti ini konsisten terlihat pada seluruh titik sondir tangan.



Gambar 6 Potongan Hasil Sondir HS.1, HS.6, HS.7, HS.12, dan HS.13



Gambar 7 Potongan Hasil Sondir HS.2, HS.5, HS.8, HS.11, dan HS.14



Gambar 8 Potongan Hasil Sondir HS.3, HS.4, HS.9, HS.10, dan HS.15

Pengambilan contoh tanah dengan blok *sampling* lebih mudah dilakukan karena akar dan batang kayu dapat dipotong secara hati-hati. Tetapi metode ini dibatasi oleh kedalaman, karena pada kedalaman lebih dari 1 m kondisi tanah sangat lunak dan muka air dangkal. Lubang blok *sampling* yang kedalamannya berada dibawah muka air terisi oleh air secara cepat, hal ini sejalan dengan hasil uji permeabilitas lapangan dimana didapat nilai permeabilitas adalah $k \approx 3-6 \times 10^{-3}$ cm/s. Nilai permeabilitas tersebut menyebabkan tanah gambut berperilaku lebih mirip pasir dimana air mampu keluar masuk tanah atau kondisi *drained* daripada lempung dimana air tidak mampu keluar masuk tanah atau kondisi *Undrained* pada pembebanan seketika.

Hasil uji Vane Shear laboratorium menunjukkan kuat geser *undrained* rata-rata tanah gambut yang diuji adalah 7,67 kPa, pada nilai regangan 18,33 %. Kuat geser residual hanya 1 kPa, pada nilai regangan 2,78 %. Hal ini menunjukkan tanah gambut tergolong tanah sensitif dimana rasio kuat geser *undrained* puncak dengan kuat geser residual 4-8. Kategori sensitifitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

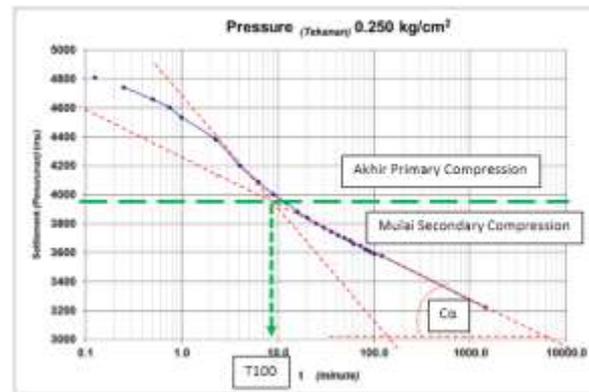
Tabel 2 Kategori sensitifitas tanah (Mitchell, 1930)

Sensitifitas	Kategori
≈ 1	Tidak Sensitif
1-2	Sensitifitas rendah
2-4	Sensitifitas sedang
4-8	Sensitif
8-16	Encer

Nilai kuat geser residual yang sangat kecil, artinya apabila tanah gambut sudah terganggu dan mengalami regangan besar karena masalah stabilitas lereng maka tanah gambut ini hampir tidak akan memiliki kekuatan geser. Nilai regangan pada kondisi residual lebih terpengaruh

oleh keberadaan serat organik dibandingkan regangan pada kondisi puncak kuat geser *undrained*.

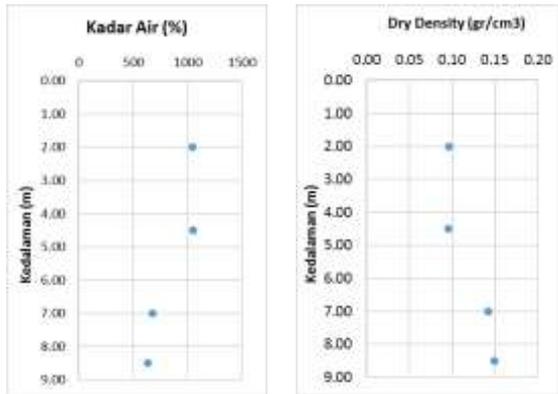
Parameter penurunan tanah gambut tidak sama dengan tanah material lunak, hal ini ditunjukkan oleh parameter C_c -nya yang mencapai 4,49, dimana nilai maksimum C_c material tanah biasanya berkisar 1,4. Oleh karenanya penurunan yang terjadi pada tanah gambut mencapai lebih dari 3 kali tanah material lunak. Ditambah lagi hasil laboratorium menunjukkan tanah gambut memiliki koefisien kompresi sekunder (C_{α}) yang cukup besar yaitu $\pm 0,2$, nilai ini memastikan struktur yang langsung berada diatas tanah gambut akan mengalami masalah penurunan jangka panjang yang cukup signifikan (Gambar 9).



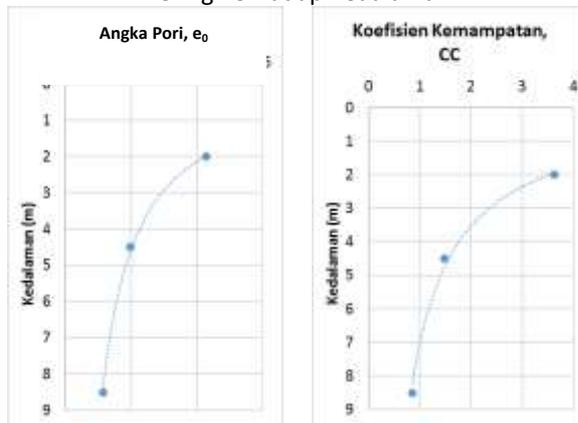
Gambar 9 Tipikal Grafik Penurunan Terhadap Waktu Hasil Uji Konsolidasi Tanah Gambut

Koefisien konsolidasi tanah gambut luar biasa besar dibandingkan tanah material lunak, hasil uji laboratorium menunjukkan parameter C_v dapat mencapai $3,7 \times 10^{-5}$ m²/s, sedangkan untuk tanah material lunak maksimum berkisar $\pm 1 \times 10^{-6}$ m²/s. Ini menunjukkan perilaku konsolidasi tanah gambut sangat cepat dan bahkan berperilaku seperti material nonplastik.

Hasil uji properties terhadap 3 (tiga) sampel tanah gambut menunjukkan pola terhadap kedalaman dimana semakin dalam, nilai kadar air, angka pori dan koefisien kemampatan (C_c) tanah gambut semakin kecil, sementara berat volume kering menunjukkan hubungan sebaliknya (Gambar 10 dan Gambar 11). Kadar air lapisan sampai dengan kedalaman 4,5 m adalah berkisar 1.000 %, dan kedalaman >4,5m berkisar 600 %. Nilai angka pori pada kedalaman 2 m adalah sekitar 10, dan pada kedalaman 8,5 turun menjadi 2,8. Nilai C_c pada kedalaman 2 m adalah lebih dari 3,5 dan pada kedalaman 8,5 turun menjadi sekitar 0,86. Variasi parameter ini sebaiknya dipertimbangkan untuk mendapatkan perhitungan yang lebih efisien.



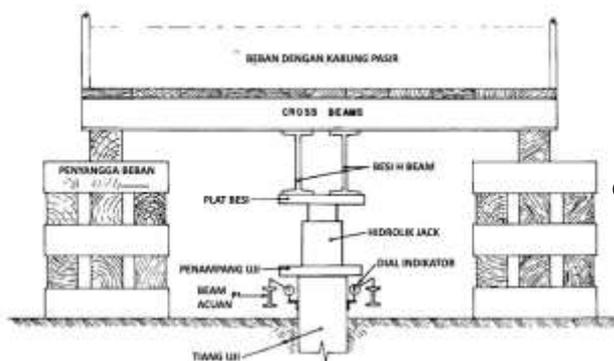
Gambar 10 Variasi Kadar Air dan Berat Volume Kering Terhadap Kedalaman



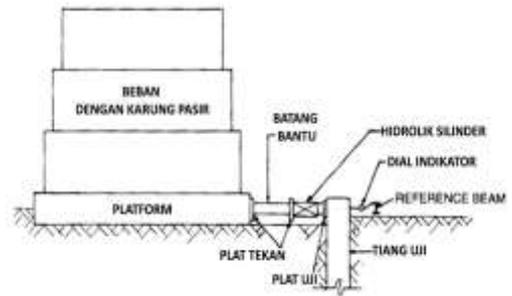
Gambar 11 Variasi Angka Pori dan Koefisien Kemampatan Terhadap Kedalaman

PROSEDUR UJI COBA DAN PEMANTAUAN

Sketsa pengujian kapasitas aksial dan lateral yang dilakukan berdasarkan ASTM D 1143 dan D 3966 dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12 Sketsa uji kapasitas aksial



Gambar 13 Sketsa uji kapasitas lateral

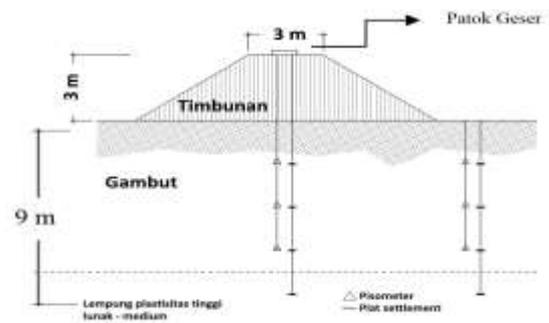
Setiap tipe model fisik dilengkapi instrumentasi berupa pemantau tekanan air pori, deformasi internal dan permukaan.

KONSTRUKSI MODEL FISIK

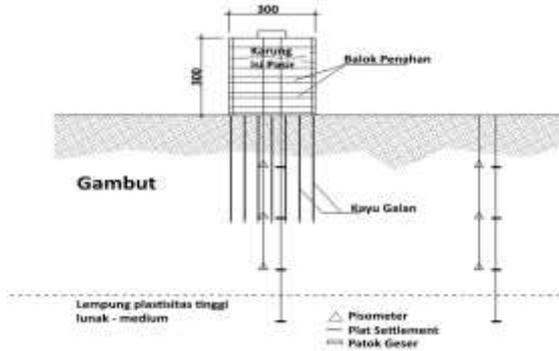
Kegiatan pembuatan model fisik meliputi:

- a) Uji kapasitas daya dukung vertikal cerucuk, dan alternatif fondasi.
- b) Uji kapasitas lateral cerucuk dan alternatif fondasi.
- c) Pembuatan Model A timbunan tanpa perkuatan.
- d) Pembuatan Model B timbunan dengan cerucuk.
- e) Pembuatan Model C timbunan dengan alternatif tiang.

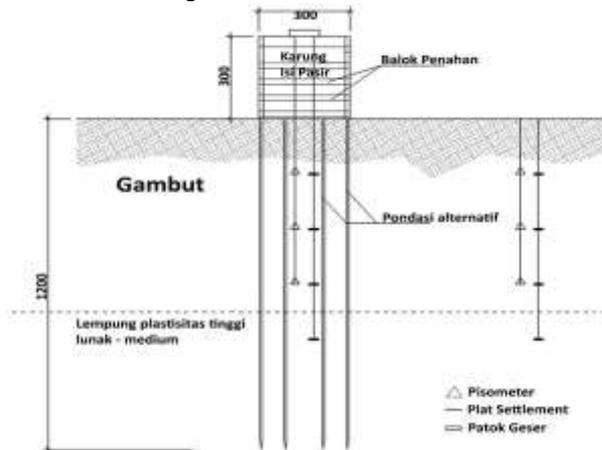
Setiap tipe model fisik dilengkapi instrumentasi berupa pemantau tekanan air pori, deformasi internal dan permukaan. Potongan setiap model fisik dapat dilihat pada gambar 14 s.d Gambar 16.



Gambar 14 Potongan model fisik A, timbunan tanpa fondasi



Gambar 15 Potongan model fisik B, timbunan dengan cerucuk



Gambar 16 Potongan model fisik c, timbunan dengan alternatif fondasi

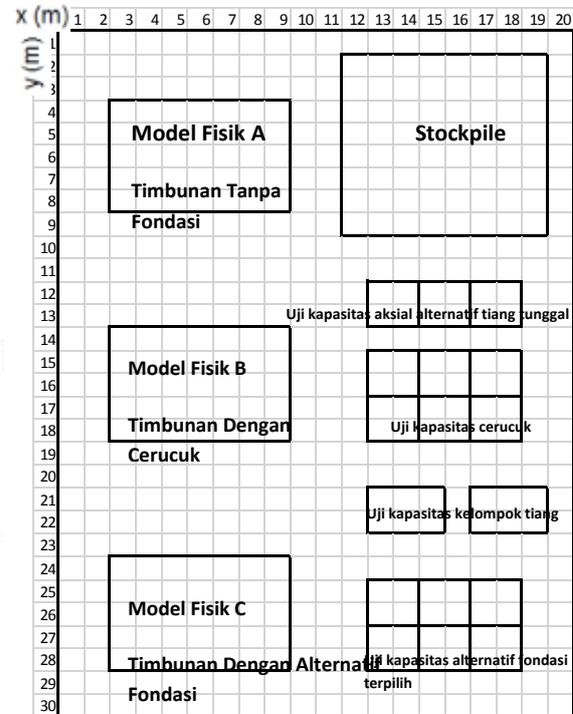
Model fisik terdiri dari pengujian kapasitas tiang tunggal, kelompok, dan timbunan dengan dan tanpa alternatif fondasi. Agar model fisik dapat dilakukan dengan efisien maka direncanakan denah model fisik seperti pada Gambar 17.

TIMBUNAN DI TANAH GAMBUT

Pembuatan Model A yaitu timbunan di atas tanah gambut tanpa perkuatan fondasi, pembuatan didahului dengan pemasangan instrumentasi berupa pisometer untuk pemantauan tekanan air pori dan *settlement plate* untuk pemantauan penurunan tanah. Pemasangan instrumentasi dilakukan dengan terlebih dahulu dibuatkan lubang sampai kedalaman yang direncanakan kemudian untuk pisometer lubang yang telah dibuat dimasukan pipa dan probe pembaca tekanan air pori, dan diisi bentonit untuk membatasi antar *probe* (Gambar 18). Sedangkan untuk *settlement plate* setelah lubang dibuat *plate* deformasi, dimasukan sesuai kedalaman rencana (Gambar 19). Instrumentasi dipasang pada tengah dan kaki timbunan.

Pada dasar timbunan dihampar papan agar pekerjaan penimbunan lebih mudah dan dapat

meratakan beban timbunan (Gambar 18), setelah penimbunan sesuai tinggi rencana pada puncak timbunan dipasang patok geser dan permukaan timbunan dipasang terpal agar terjaga dari erosi air hujan atau gangguan lainnya (Gambar 19).



Gambar 17 Denah rencana model fisik



Gambar 18 Pemasangan instrument piezometer di model fisik A



Gambar 19 Pemasangan Setletment plat Model fisik tipe A



Gambar 20 Proses penimbunan model fisik tipe A



Gambar 23 Dasar timbunan model fisik B



Gambar 21 Model fisik tipe A
MODEL FISIK B (TIMBUNAN DENGAN CERUCUK)



Gambar 24 Proses timbunan model fisik B

Pembuatan Model B yaitu timbunan timbunan di tanah gambut dengan perkuatan cerucuk, seperti halnya pembuatan model fisik A pembuatan didahului dengan pemasangan instrumentasi berupa pisometer untuk pemantauan tekanan air pori dan settlement plate untuk pemantauan penurunan tanah. Pemasangan instrumentasi dilakukan dengan terlebih dahulu dibuatkan lubang sampai kedalaman yang direncanakan kemudian untuk pisometer lubang yang telah dibuat dimasukan pipa dan *probe* pembaca tekanan air pori, dan diisi bentonit untuk membatasi antar *probe* (Gambar 22). Sedangkan untuk *settlement plate* setelah lubang dibuat *plate* deformasi dimasukan sesuai kedalaman rencana (Gambar 23). Instrumentasi dipasang pada tengah dan kaki timbunan.



Gambar 25 Model fisik tipe B

Pembuatan model fisik B sedikit berbeda dengan Model Fisik A karena timbunan dibuat dengan karung-karung pasir untuk mempercepat dan mempermudah pekerjaan. Pada dasar timbunan dihampar papan agar pekerjaan penimbunan lebih mudah dan dapat meratakan beban timbunan (Gambar 24), setelah selesai penimbunan sesuai tinggi rencana pada puncak timbunan dipasang patok geser dan sekeliling timbunan dipasang balok penahan agar timbunan relatif tegak (Gambar 25).



Gambar 22 Pemasangan pondasi cerucuk model fisik B

Model Fisik C (Timbunan dengan fondasi alternatif)

Pembuatan Model C yaitu timbunan di tanah gambut dengan perkuatan alternatif fondasi, seperti halnya pembuatan model fisik A dan B pembuatan didahului dengan pemasangan instrumentasi berupa pisometer untuk pemantauan tekanan air pori dan *settlement plate* untuk pemantauan penurunan tanah. Pemasangan instrumentasi dilakukan dengan terlebih dahulu dibuatkan lubang sampai kedalaman yang direncanakan kemudian untuk pisometer lubang yang telah dibuat dimasukan pipa dan probe pembaca tekanan air pori, dan diisi bentonit untuk membatasi antar *probe*. Sedangkan untuk *settlement plate* setelah lubang dibuat, *plate* deformasi dimasukan sesuai kedalaman rencana (Gambar 26). Instrumentasi dipasang pada tengah dan kaki timbunan.



Gambar 26 Pemasangan fondasi alternatif (pipa cor) Model fisik tipe C

Pembuatan model fisik C hampir sama dengan pemuatan model fisik B yaitu timbunan dibuat dengan karung-karung pasir untuk mempercepat dan mempermudah pekerjaan. Perbedaannya adalah pada model fisik ini, untuk perkuatan fondasi terlebih dahulu dibuat lubang diameter 25 cm (Gambar 27) kemudian lubang diisi dengan adukan beton tanpa casing. Setelah pembuatan fondasi selesai pada dasar timbunan dihampar papan (Gambar 28) agar pekerjaan penimbunan lebih mudah dan dapat meratakan beban timbunan (Gambar 29). Pengukuran instrumen dilakukan setiap peningkatan timbunan (Gambar 30). Setelah selesai penimbunan sesuai tinggi rencana, pada puncak timbunan dipasang patok geser dan sekeliling timbunan dipasang balok penahan agar timbunan relatif tegak (Gambar 31).



Gambar 27 Pemasangan settlement plate Model fisik tipe C



Gambar 28 Pemasangan alas Model fisik tipe C



Gambar 29 Proses penimbunan Model fisik tipe C



Gambar 30 Pengukuran deformasi Model fisik tipe C



Gambar 31 Model fisik tipe C

Alternatif Fondasi

Pembuatan alternatif fondasi dilakukan hanya dengan peralatan lokal tanpa menggunakan alat berat. Mulai dari pemancangan cerucuk menggunakan metode yang umum digunakan oleh penduduk lokal dan pembuatan lubang juga menggunakan metode lokal yaitu dengan pembilasan lubang dengan air. Alternatif fondasi yang dicoba adalah cerucuk diselimuti pasir (Gambar 32), tiang paralon diisi pasir (Gambar 33), dan tiang beton cor ditempat (Gambar 34). Cerucuk diselimuti pasir diharapkan dapat meningkatkan tahanan friksi dari cerucuk sehingga dapat meningkatkan daya dukung secara keseluruhan. Alternatif tiang paralon diisi pasir cara kerjanya seperti tiang batu (*stone coloumn*) bedanya tiang ini menggunakan pasir sebagai pengganti batu dan paralon sebagai ganti geotekstil. Sedangkan alternatif ting beton cor ditempat cara kerjanya seperti fondasi tiang pada umumnya tetapi tanpa menggunakan tulangan dan dengan mutu beton yang relatif lebih rendah, sehingga diharapkan dapat lebih murah untuk digunakan pada struktur-stuktur yang tidak berat.

Alternatif cerucuk pasir pada saat pemancangan menunjukkan pertambahan daya dukung yang tidak begitu signifikan dibandingkan dengan cerucuk, hal ini dikarenakan friksi pasir diantara cerucuk dengan gambut masih relatif kecil sehingga pasir ikut amblas sampai lapisan pasir memiliki lebar yang cukup dan memiliki total friksi yang cukup.

Alternatif fondasi paralon diisi pasir memiliki kesulitan dalam pembuatan lubang besar dengan metode lokal terutama jika target adalah untuk menembus lapisan di bawah gambut. Selain itu kepadatan pasir juga sulit terkontrol sedangkan perilaku deformasi dari alternatif ini salah satunya tergantung tingkat kepadatan pasir didalam paralon.

Alternatif fondasi beton cor ditempat memiliki kendala penentuan volume beton yang dibutuhkan setiap lubangnya, dari pengalaman lapangan volume beton yang dibutuhkan dapat mencapai 1,5 kali - 2,5 kali dari volume beton yang direncanakan. Hal ini disebabkan oleh kondisi gambut yang lunak sehingga volume beton pada lubang tersebut mendesak gambut disekitarnya dan diameter coran menjadi lebih besar. Oleh karena itu masih diperlukan penyempurnaan lagi mengenai metode konstruksinya sehingga dapat disesuaikan dengan kapasitas daya dukung yang dibutuhkan.



Gambar 32 Pemancangan cerucuk diselimuti pasir

MONITORING EVALUASI MODEL FISIK

Model Fisik A (Timbunan tanpa perkuatan)

Hasil pemantauan instrumentasi penurunan dan tekanan air pori dapat dilihat pada Gambar 35 dan Gambar 36. Pola grafik *settlement plate* model fisik A dan B menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Pada model fisik A penurunan terbesar terjadi di pertemuan timbunan dengan tanah gambut, sedangkan model fisik B menunjukkan penurunan di dasar timbunan pada daerah di bawah cerucuk. Perilaku ini menunjukkan tegangan akibat penimbunan didistribusikan ke bawah cerucuk sehingga lapisan gambut dekat dasar timbunan tidak

begitu besar menerima tegangan, sehingga penurunan didasar timbunan relatif kecil dibanding model fisik A.

Hasil pemantauan instrumentasi tekanan air pori yang dipasang pada tanah gambut menunjukkan peningkatan tekanan air pori akibat proses penimbunan berlangsung hanya seketika, setelah itu tekanan air pori langsung mencapai kondisi tekanan hidrostatis. Perilaku ini menunjukkan lapisan gambut relatif berperilaku *drain* sehingga tekanan air pori berlebihan akibat penimbunan langsung terdisipasi dengan cepat.

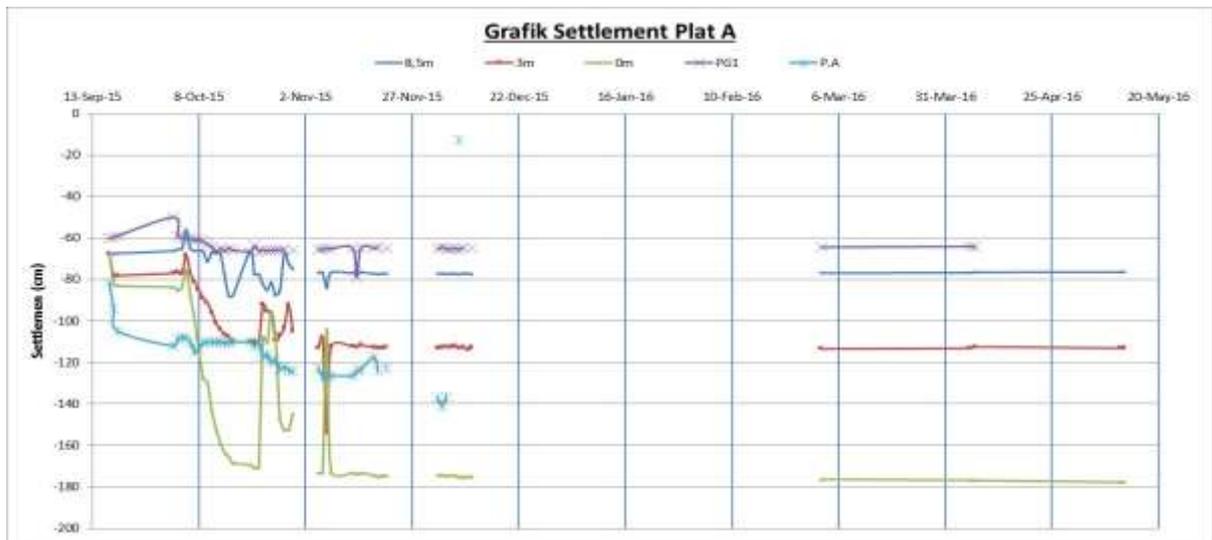
Hasil pemantauan muka air tanah selama proses konstruksi relatif stabil, hanya mengalami penurunan muka air tanah berkisar 5 cm.



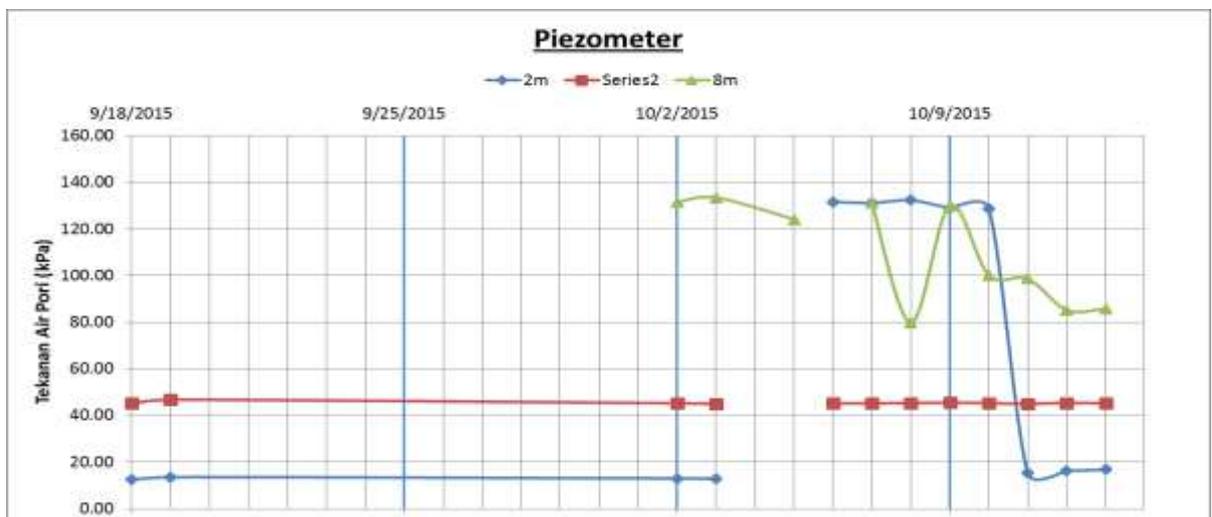
Gambar 33 Pembuatan alternatif fondasi tiang pasir diselimuti paralon



Gambar 34 Alternatif fondasi tiang cor di tempat



Gambar 35 Grafik settlement plat A



Gambar 36 Grafik tekanan air pori pada model A



Gambar 37 Kedalaman air tanah pada model A dan B

Model Fisik B (Timbunan dengan cerucuk)

Hasil pemantauan instrumentasi penurunan pada model fisik B dapat dilihat pada Gambar 38. Pola grafik settlement plate model fisik B menunjukkan penurunan pada dasar timbunan dibandingkan dengan penurunan pada kedalaman antara cerucuk memiliki penurunan yang relatif sama. Artinya bahwa pada model fisik B penurunan terbesar berada pada daerah di bawah cerucuk. Perilaku ini menunjukkan tegangan akibat penimbunan didistribusikan ke bawah cerucuk sehingga lapisan gambut dekat dengan dasar timbunan tidak begitu besar menerima tegangan dan mengakibatkan penurunan didasar timbunan relatif kecil dibanding model fisik A.

Model Fisik C (Timbunan dengan tiang beton cor ditempat)

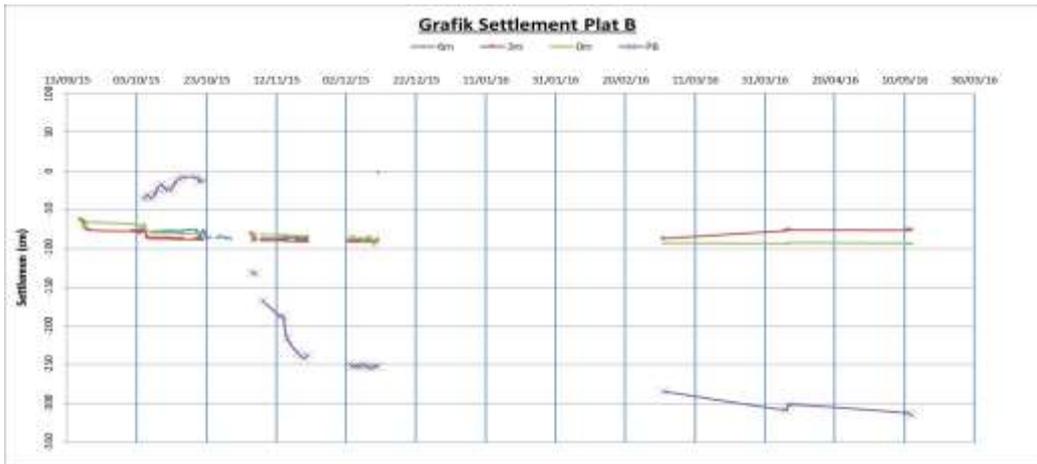
Hasil pemantauan instrumentasi penurunan pada model fisik C dapat dilihat pada Gambar 39. Pola grafik settlement plate model fisik C menunjukkan penurunan pada dasar timbunan dibandingkan dengan penurunan pada kedalaman antara cerucuk memiliki penurunan yang relatif sama, sehingga pada model fisik C penurunan terbesar berada

pada daerah di bawah cerucuk. Perilaku ini menunjukkan tegangan akibat penimbunan didistribusikan ke bawah cerucuk sehingga lapisan gambut dekat dengan dasar timbunan tidak begitu besar menerima tegangan dan mengakibatkan penurunan didasar timbunan relatif kecil dibanding model fisik A.

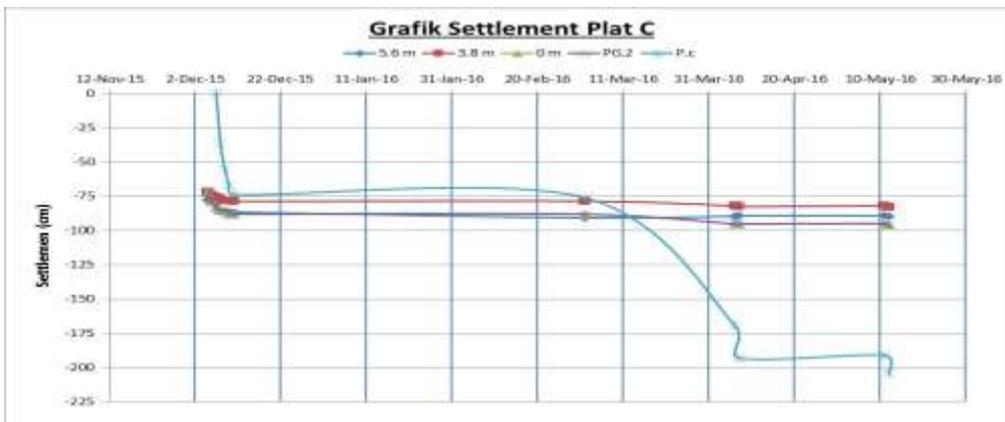
Daya Dukung Alternatif Fondasi

Hasil uji pembebanan tiang dapat dilihat pada Gambar 40 sampai Gambar 45. Gambar-gambar tersebut menunjukkan proses pembebanan dan hubungan beban dengan penurunan tiang pada cerucuk dengan 3 (tiga) diameter yang sama, 10 cm dan panjang yang berbeda-beda, yaitu 3,5 m; 5,5 m serta 7m. Kapasitas daya dukung ultimit cerucuk diameter 10 cm dengan panjang 3,5 m adalah 430 kg, cerucuk dengan panjang 5,5 m adalah 500 kg, dan cerucuk 7,5 m dengan 1 m masuk kedalam lapisan lempung lunak adalah 1.120 kg. Dari hasil tersebut diketahui bahwa dengan menambah panjang cerucuk 2 m hanya akan menambah kapasitas ultimit menjadi 70 kg atau pertambahannya adalah 35 kg/m cerucuk. Peningkatan daya dukung yang signifikan terjadi pada saat cerucuk masuk ke lapisan lempung di bawah lapisan gambut, daya dukung ultimit naik lebih dari 2 kalinya dari cerucuk panjang 5,5 m. Daya dukung ultimit dari beberapa alternatif fondasi diketahui bahwa beton cor ditempat hasil uji pembebanan menunjukkan nilai yang paling besar dibandingkan alternatif yang lain dengan panjang yang relatif sama, tiang cor ditempat dengan diameter 20 cm dan panjang 7 m dengan 1 m masuk kedalam lempung lunak memiliki daya dukung ultimit 9 ton, cerucuk diselimuti pasir dengan panjang 7 m memiliki daya dukung ultimit 3,5 ton, dan paralon diisi pasir dengan panjang 7 m hanya 1,25 ton.

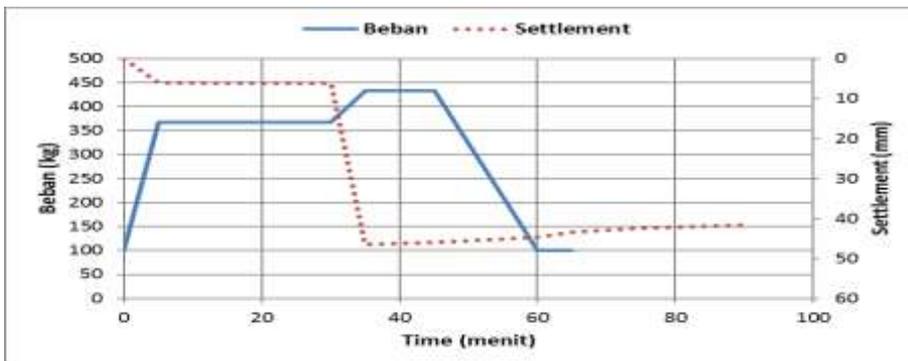
Kapasitas lateral ultimit cerucuk sangat kecil yaitu kurang dari 100 kg, sehingga perlu alat ukur tegangan yang lebih sensitif untuk dapat mengukur pola deformasi terhadap beban yang diberikan.



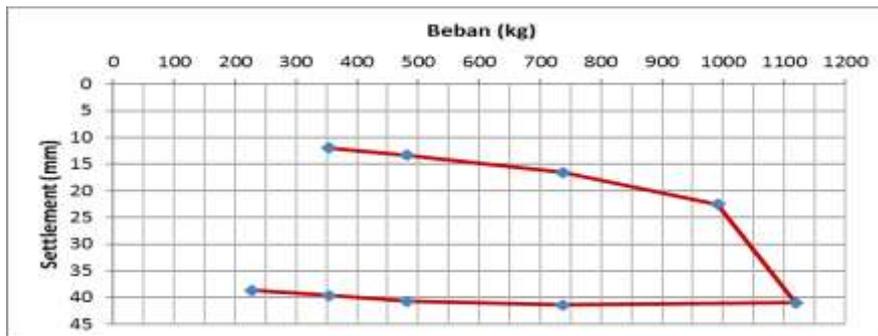
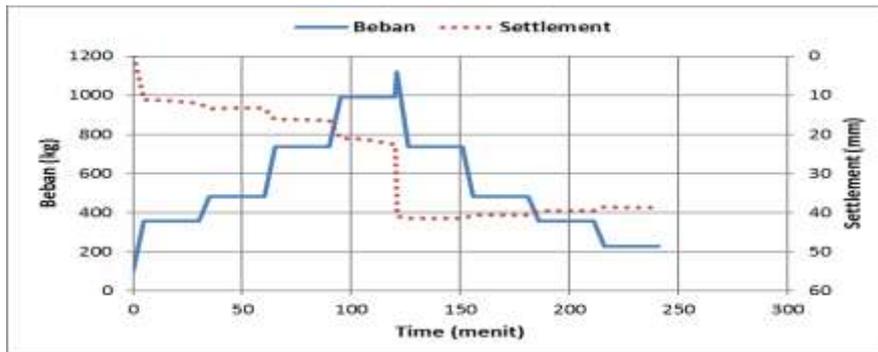
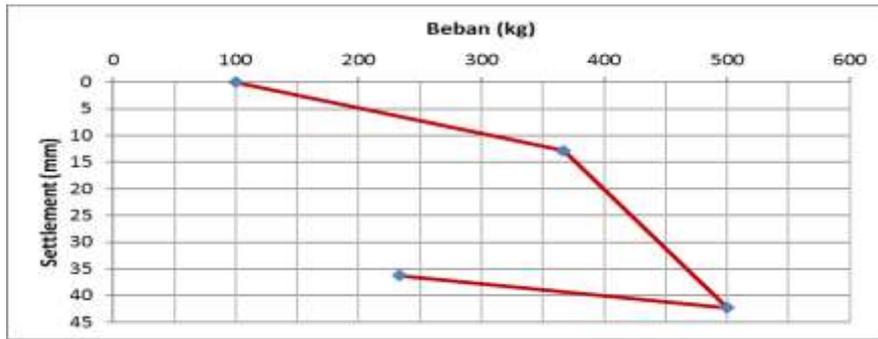
Gambar 38 Grafik settlement plat B



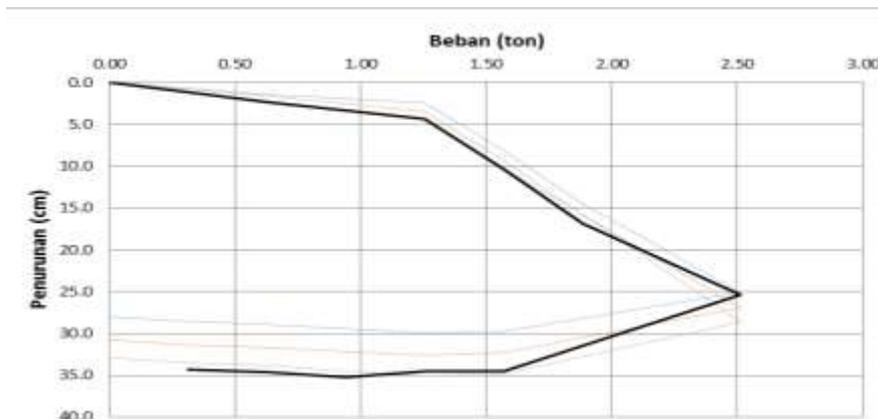
Gambar 39 Grafik settlement plat C



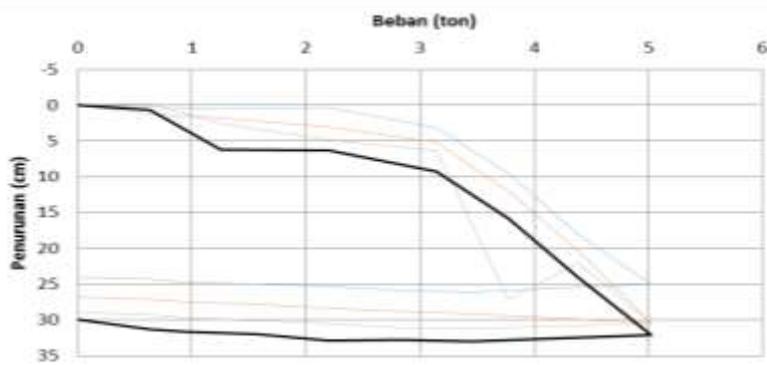
Gambar 40 Cerucuk diameter 10 cm, panjang 3,5 m, seluruh panjang cerucuk berada di gambut.



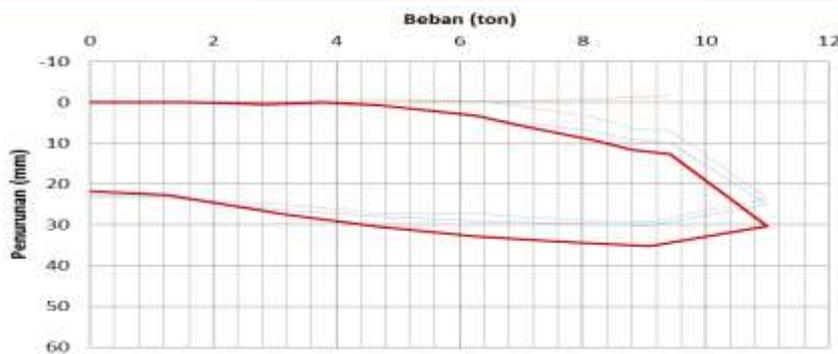
Gambar 42 Cerucuk diameter 10 cm, panjang 7 m, masuk ± 1 m ke lapisan lempung lunak plastisitas tinggi



Gambar 43 Tiang paralon diameter 20 cm diisi pasir, panjang 7 m, masuk ± 1 m ke lapisan lempung lunak plastisitas tinggi



Gambar 44 Tiang cerucuk diameter 10 cm diselimuti pasir diameter 20 cm, panjang 7 m, masuk ± 1 m ke lapisan lempung lunak plastisitas tinggi.



Gambar 45 Tiang beton diameter 20 cm, panjang 7 m, masuk ± 1 m ke lapisan lempung lunak plastisitas tinggi

KESIMPULAN

Telah dilakukan kegiatan pembuatan model fisik yang meliputi: uji kapasitas daya dukung vertikal cerucuk, dan alternatif fondasi, uji kapasitas lateral cerucuk dan alternatif fondasi, pembuatan Model A timbunan tanpa perkuatan, pembuatan Model B timbunan dengan cerucuk dan pembuatan Model C timbunan dengan alternatif tiang.

Hasil pemantauan terhadap model fisik melalui grafik *settlement plate*, model fisik A dan B menunjukkan perbedaan pola yang cukup signifikan. Pada model fisik A penurunan terbesar terjadi di pertemuan timbunan dengan tanah gambut, sedangkan model fisik B menunjukkan penurunan di dasar timbunan pada daerah di bawah cerucuk. Lapisan gambut relatif berperilaku *drain* sehingga tekanan air pori berlebihan akibat penimbunan langsung terdisipasi. Pemantauan muka air tanah selama proses konstruksi, menunjukkan penurunan muka air tanah sekitar 5 cm saja.

Hasil pemantauan instrumentasi model fisik C ditunjukkan oleh pola grafik *settlement plate*

dimana penurunan didasar timbunan relatif kecil dibanding model fisik A. Sementara hasil uji pembebanan tiang menunjukkan proses pembebanan dan hubungannya dengan penurunan pada cerucuk dengan 3 (tiga) diameter yang sama, 10 cm dan panjang yang berbeda-beda, yaitu 3,5 m; 5,5 m serta 7 m. Kapasitas daya dukung ultimit cerucuk diameter 10 cm dengan panjang 3,5 m adalah 430 kg, cerucuk dengan panjang 5,5 m adalah 500 kg, dan cerucuk 7,5 m dengan 1 m masuk kedalam lapisan lempung lunak adalah 1.120 kg. Dari hasil tersebut diketahui bahwa dengan menambah panjang cerucuk 2 m hanya akan menambah kapasitas ultimit menjadi 70 kg atau pertambahannya adalah 35 kg/m cerucuk. Peningkatan daya dukung yang signifikan terjadi pada saat cerucuk masuk ke lapisan lempung di bawah lapisan gambut, daya dukung ultimit naik lebih dari 2 kalinya dari cerucuk panjang 5,5 m. Daya dukung ultimit dari beberapa alternatif fondasi diketahui bahwa beton cor ditempat hasil uji pembebanan menunjukkan nilai yang paling besar dibandingkan alternatif yang lain dengan panjang yang relatif sama, tiang cor ditempat dengan diameter 20 cm

dan panjang 7 m dengan 1 m masuk kedalam lempung lunak memiliki daya dukung ultimit 9 ton, cerucuk diselimuti pasir dengan panjang 7 m memiliki daya dukung ultimit 3,5 ton, dan paralon diisi pasir dengan panjang 7 m hanya 1,25 ton. Kapasitas lateral ultimit cerucuk sangat kecil yaitu kurang dari 100 kg, sehingga perlu alat ukur tegangan yang lebih sensitif untuk dapat mengukur pola deformasi terhadap beban yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Raziqi, A.A., Huat, B.B.K. and Munzir, H.A., 2003, "Potential Usage Of Hyperbolic Method For Prediction Of Organic Soil Settlement." Proceeding of 2nd International Conferences on Advances in Soft Soil Engineering. Putrajaya, Malaysia.
- Asadi, A., Huat, B. B. K., Moayedi, H., Shariatmadari, N. and Parsaie, A., 2011, Electroosmotic permeability coefficient of peat with different degree of humification, *International Journal of Electrochemical Science*, 6(10), 4481-92.
- Azzouz, A. S., Krizek, R.J. and Corotos, R. B., 1976, Regression analysis of soil compressibility, *soils and Foundation*, 16(2), 19-29.
- Bujang B.K. Huat, 2014, *Geotechnics of Organic Soil and Peat*, CRC Press.
- Dhowian, A. W. and Edil, T. B. (1980). Consolidation Behavior of Peats. *Geotech. Testing J.*, 3(3): 105-114.
- Dowrick, David, 2009. *Earthquake Resistant Design And Risk Reduction*. Jihn Wiley&Sons, Ltd. United Kingdom.
- Farrell, E.R., C. O'Neill and A. Morris. 1994. Changes in the mechanical properties of soil with variation in organic content. In *Avances in Understanding and Modeling the Mechanical Behaviour of Peat*, p. 19-25. Balkema Rotterdam.
- H. A. Gruen, Jr, 1983, *Use Of Peats As Embankment Foundations*, Purdue University.
- Mitchell, James Kenneth, 1930. *Selected Geotechnical Papers of James K. Mitchell*, Civil Engineering Classics. American Society of Civil Engineers (ASCE). Virginia.
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2001, *Timbunan Jalan di tanah Lunak*, Panduan Geoteknik 1-4, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Bandung.
- Republik Indonesia, 2014, Peraturan Pemerintah No. 71 tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut, Jakarta.
- RSNI M-03-2002, *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*, Badan Standardisasi Nasional.
- Terzaghi, Karl, 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley&Sons, Inc. New York.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada kawan-kawan Laboratorium Geoteknik, Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan atas semua bantuannya sehingga penelitian ini dapat selesai pada waktunya.