

Analisis Model Pondasi Bangunan Air di Atas Tanah Rawa Berbahan Lokal

Analysis of Waterworks Foundation Model on Swamp Soil Using Local Material

Kelik Istanto, Andy Eka Saputra

Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno-Hatta No. 10, Rajabasa, Bandar Lampung

Email : kelik@polinela.ac.id

ABSTRACT

*The research was distributed by foundation failure that supported the waterworks on swamp soil which caused it collapsed. The objectives of this research were (1) Define foundation model on swamp soil using local material that suitable to swamp soil characteristic, (2) Generate foundation model that give efficiency value more than or equivalence to 70%, and, (3) Predict the bearing capacity of foundation model to support waterworks load. The proposed foundation models were pile group using gelam (*melaleuca cajuputi sub sp.cumingiana*) had 12 cm in diameter which plugged upright (M1), two-fifths in each row were plugged oblique with 15° to center line of waterworks (M2), and four-fifths in each row were plugged oblique with 15° to center line of waterworks (M3). Furthermore, it performed by computing the bearing capacity of each foundation model based on physical and mechanical properties of swamp soil in single pile, pile group, and block failure system. The research results shown that 40 cm in space between piles ($E_g=70,3\%$), the foundation models produced the same bearing capacity to support waterworks load. Whereas, which 50 cm in space ($E_g=76\%$), 60 cm ($E_g=79,9\%$), and 70 cm ($E_g=82,7\%$), each model produced different bearing capacity to support waterworks load and could describe by $Q_{M1} < Q_{M2} < Q_{M3}$. The maximum waterworks load could be supported by foundation model was 1,208.83 kg, it was happened in the third model with 70 cm in space.*

Keywords: swamp soil, local material, pile group efficiency, and bearing capacity

Naskah ini diterima pada tanggal 7 Oktober 2013, direvisi pada tanggal 21 Oktober 2013 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 16 Desember 2013

PENDAHULUAN

Propinsi Lampung memiliki sebaran lahan rawa yang cukup luas, terdiri dari 13.400 ha rawa gambut (*peat swamp forest*), 41.200 ha rawa lebak (*freshwater swamp forest*), dan 153.200 ha rawa pasang surut (*marshes*). Luasan tersebut teridentifikasi melalui *Regional Phisycal Planning Programme for Transmigration* (Departement Transmigrasi, 1988). Kegiatan tersebut diikuti dengan kegiatan pendayagunaan lahan rawa yang dapat diartikan sebagai pemanfaatan (konversi) lahan rawa menjadi lahan budidaya.

Salah satu lokasi rawa lebak di Propinsi Lampung yang telah didayagunakan sebagai lahan budidaya dan permukiman adalah Rawa Pitu. Pada lokasi tersebut juga didapati jenis keruntuhan bangunan air sebagai akibat keruntuhan pondasinya yang menyebabkan penurunan sebagian dari konstruksi bangunan air sehingga bangunan air tersebut runtuh/patah. Keruntuhan bangunan air tersebut menyebabkan penurunan fungsi bangunan air atau bahkan bangunan air tidak dapat berfungsi lagi. Jika kondisi ini tidak teratasi dengan baik, maka sistem tata air pada lahan rawa yang didayagunakan akan terganggu yang pada akhirnya akan menurunkan produktifitas lahan dan berdampak pada kondisi sosial ekonomi masyarakat.

Tjandrawibawa (2000) telah menyelidiki suatu model untuk mengetahui peningkatan daya dukung suatu pondasi setempat (segiempat) akibat penempatan cerucuk (tiang) di bawahnya di atas lapisan lempung lunak. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan cerucuk tegak meningkatkan daya dukung mencapai 38%, sedangkan dengan memasang cerucuk secara miring 75° dapat meningkatkan daya dukung sampai 64%.

Dunn (1980) merekomendasikan tata cara mengevaluasi kekuatan sistem pondasi tiang pancang. Untuk mengevaluasi kekuatan sistem pondasi, perlu meninjau kekuatan tiang secara individual dan secara kelompok. Kapasitas daya dukung maksimum suatu kelompok tiang tidak akan sama dengan kapasitas daya dukung satu tiang dikalikan dengan banyaknya tiang pada kelompok tiang tersebut. Ketidaksamaan tersebut diwakili oleh besaran efisiensi kelompok tiang (Setyanto, 1999).

METODE PENELITIAN

Data

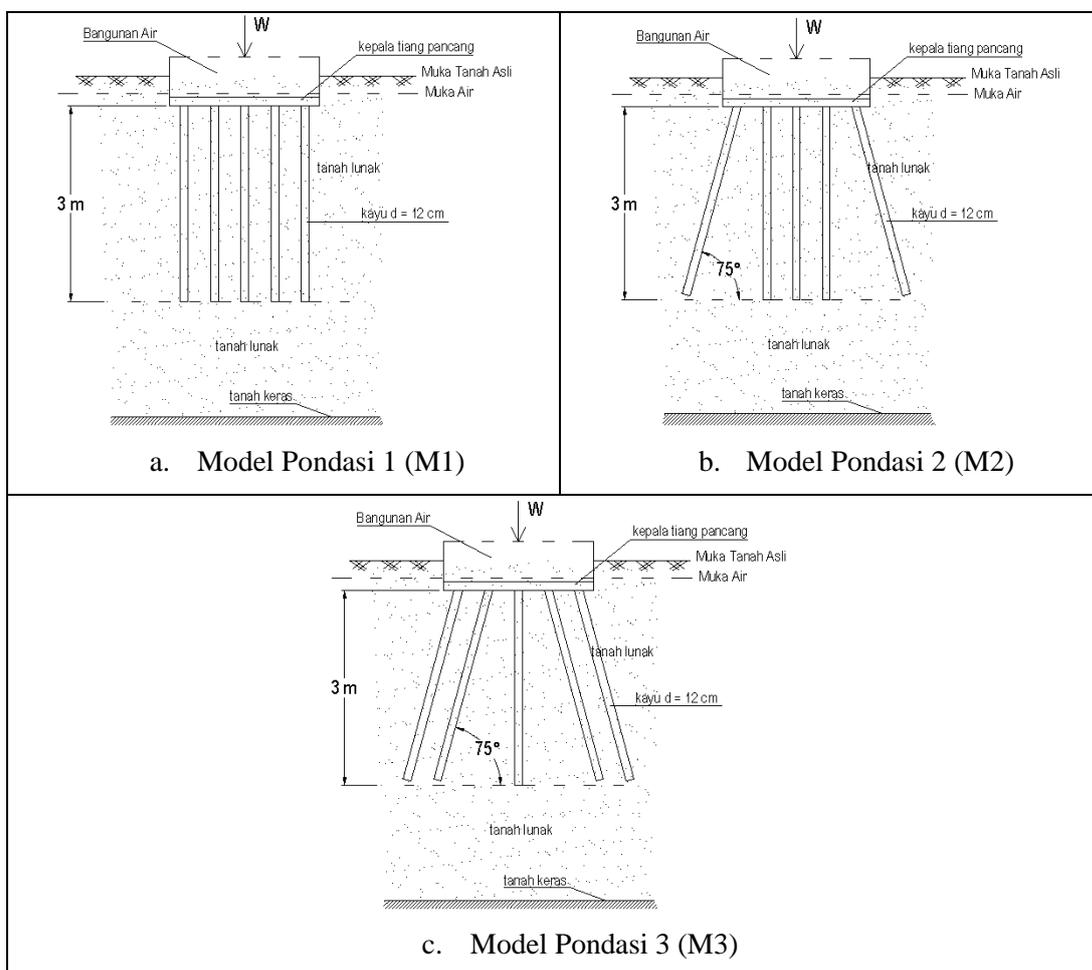
Data utama yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari data karakteristik tanah rawa dan sifat fisik serta mekanik tanah. Sifat mekanik bahan lokal, dalam hal ini kayu, didapat dari hasil penelitian terdahulu melalui uji sifat mekanik kayu di Laboratorium. Sedangkan sifat fisik dan mekanik tanah rawa yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

- Log-bor, susunan lapisan tanah dari permukaan hingga batas pengeboran
- Sifat fisik tanah terdiri dari kadar air, berat volume, dan *sieve analys*
- Sifat mekanik tanah terdiri dari batas kohesi dan sudut geser dalam.

Analisis Parameter

Analisis hasil Log-bor, digunakan untuk mengetahui komposisi dan ketebalan setiap lapisan tanah yakni posisi muka air tanah, humus, dan lapisan-lapisan di bawahnya. Sifat fisik tanah rawa, dianalisis untuk melakukan justifikasi karakter fisik tanah yakni gradasi, jenis tanah, kembang susut, dan lainnya. Sifat mekanik tanah rawa, sifat mekanik dianalisis untuk mengetahui karakter mekanik tanah yakni daya gesekan tanah dan kuat geser tanah. Sedangkan Sifat mekanik

material lokal, data tersebut dianalisis untuk menentukan tegangan ijin material lokal yang digunakan.



Gambar 1. Model Pondasi Diusulkan

Perumusan Model

Perumusan model adalah kegiatan merumuskan konsep model berdasarkan karakteristik tanah rawa, karakter mekanik bahan lokal, dan hasil studi terdahulu. Konsep model yang diusulkan terdiri dari 3 (tiga) konsep model dengan asumsi dan batasan sebagai berikut:

- Model pondasi adalah model pondasi kelompok tiang pancang (*pile group*)
- Tiang diperlakukan sebagai tiang gesekan (*frictio pile*)
- Faktor keamanan (*safety factor*) digunakan sama dengan 2 (SF=2)
- Panjang tiang pancang digunakan 3,0 meter
- Diameter tiang pancang digunakan 12 cm
- Kepala tiang pancang berada di bawah muka air tanah
- Jarak antara tiang pancang lebih dari atau sama dengan tiga kali diameter tiang digunakan ($\geq 3D$)

- Sistem pondasi akan mengalami penurunan (*settlement*) dan dipandang sebagai tiang gesekan (*friction pile*)

Analisis Kinerja Model

Analisis kinerja model dilakukan untuk setiap model pondasi yang diusulkan dengan melakukan perhitungan besaran:

a. Efisiensi Kelompok Tiang Pancang (E_g)

Batasan efisiensi kelompok tiang pancang digunakan lebih dari 70% ($E_g=0,7$). Batasan nilai tersebut mengacu pada rekomendasi yang diberikan untuk perhitungan efisiensi daya dukung pondasi kelompok tiang (Setyanto, 1999). Jika hasil perhitungan didapat $E_g \geq 0,7$ maka analisis kinerja model dilanjutkan, namun jika $E_g < 0,7$ dilakukan perbaikan konsep model dengan pengaturan jarak antar tiang.

b. Daya Dukung Kelompok Tiang Pancang (Q)

Perhitungan daya dukung maksimum kelompok tiang pancang dilakukan dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

- Menghitung daya dukung tiang pancang sebagai tiang pancang individu dan menjumlahkan daya dukung seluruh tiang pancang dalam kelompok tiang pancang (Q_1)
- Menghitung daya dukung tiang pancang sebagai kelompok tiang pancang dan hasil perhitungan dinotasikan sebagai (Q_2)
- Menghitung daya dukung kelompok tiang sebagai sistem yang akan mengalami keruntuhan blok (*block failure*) dan hasil perhitungan dinotasikan sebagai (Q_3)
- Selanjutnya dipilih nilai daya dukung terkoreksi yang paling minimal (rendah) sebagai nilai daya dukung model kelompok tiang pancang (Q)

Pemilihan Model

Pemilihan model untuk direkomendasikan sebagai model pondasi rawa (lebak) didasarkan pada hasil analisis kinerja model dengan kriteria:

- Model pondasi dipilih adalah model pondasi yang memiliki nilai efisiensi tertinggi dan lebih dari 0,7
- Model pondasi dipilih adalah model pondasi yang memiliki nilai daya dukung tertinggi

Jika hasil penelitian menunjukkan nilai efisiensi tidak berbanding lurus dengan daya dukung sitem pondasi dipilih, maka model pondasi dipilih adalah model pondasi dengan nilai daya dukung tertinggi dengan efisiensi lebih dari 0,7.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Rawa

Hasil log-bor menunjukkan lapisan tanah dan posisi Muka Air Tanah (MAT) di Rawa Pitu. Posisi MAT berada pada kedalaman 0,2 hingga 1,1 meter di bawah permukaan tanah. Sampai dengan kedalaman pemboran (pengambilan contoh tanah tak terganggu) komposisi lapisan tanah terdiri dari humus (*top soil*), lempung (kecoklatan), lempung (abu-abu), dan sebagian lempung berpasir.

Hasil uji sifat fisik tanah rawa di atas menunjukkan bahwa kadar air tanah sangat tinggi dengan nilai berkisar antara 94,56 hingga 158,18% dengan nilai kadar air rerata 131,21%. Berat volume tanah berkisar antara 1,16 hingga 1,43 g/cm³ dengan berat volume rerata 1,28 g/cm³. Sedangkan berat jenis (Gs) tanah memiliki nilai antara 2,23 hingga 2,56 dengan nilai berat jenis rerata 2,42.

Hasil uji sifat mekanik tanah rawa menunjukkan nilai kohesi (c) yang dimanfaatkan sebagai parameter sifat mekanik tanah dalam menghasilkan daya dukung pondasi cerucuk (kelompok tiang pancang) berkisar antara 0,01 hingga 0,05 kg/cm² dengan nilai kohesi rerata 0,03 kg/cm². Sedangkan sudut geser dalam (ϕ) yang akan berpengaruh terhadap tegangan geser tanah berkisar antara 7,00° hingga 15,50° dengan nilai sudut geser dalam rerata 9,73°.

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisik Tanah

| No | Lokasi Sampling | w (%) | V (g/cm ³) | Gs |
|----|-----------------|--------|------------------------|------|
| 1 | Titik 1 (HB 11) | 126,44 | 1,28 | 2,38 |
| | Titik 2 (HB 12) | 131,80 | 1,24 | 2,23 |
| 2 | Titik 1 (HB 21) | 131,29 | 1,26 | 2,47 |
| | Titik 2 (HB 22) | 130,25 | 1,28 | 2,37 |
| 3 | Titik 1 (HB 31) | 122,69 | 1,28 | 2,45 |
| | Titik 2 (HB 32) | 122,51 | 1,26 | 2,42 |
| 4 | Titik 1 (HB 41) | 142,68 | 1,20 | 2,46 |
| | Titik 2 (HB 42) | 141,52 | 1,22 | 2,39 |
| 5 | Titik 1 (HB 51) | 158,18 | 1,18 | 2,44 |
| | Titik 2 (HB 52) | 157,61 | 1,16 | 2,53 |
| 6 | Titik 1 (HB 61) | 94,91 | 1,43 | 2,48 |
| | Titik 2 (HB 62) | 94,56 | 1,42 | 2,56 |
| | Titik 3 (HB 63) | 147,16 | 1,24 | 2,44 |
| 7 | Titik 1 (HB 71) | 133,95 | 1,32 | 2,37 |
| | Titik 2 (HB 72) | 132,58 | 1,35 | 2,39 |

Sumber: Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, 2008

Tabel 2. Hasil Uji Sifat Mekanik Tanah

| No | Lokasi Sampling | c (kg/cm ²) | □□□□ |
|----|-----------------|-------------------------|-------|
| 1 | Titik 1 (HB 11) | 0,02 | 7,50 |
| | Titik 2 (HB 12) | 0,01 | 7,48 |
| 2 | Titik 1 (HB 21) | 0,05 | 8,00 |
| | Titik 2 (HB 22) | 0,03 | 8,50 |
| 3 | Titik 1 (HB 31) | 0,02 | 9,00 |
| | Titik 2 (HB 32) | 0,02 | 9,20 |
| 4 | Titik 1 (HB 41) | 0,04 | 8,00 |
| | Titik 2 (HB 42) | 0,03 | 8,20 |
| 5 | Titik 1 (HB 51) | 0,02 | 7,20 |
| | Titik 2 (HB 52) | 0,02 | 7,00 |
| 6 | Titik 1 (HB 61) | 0,03 | 13,00 |
| | Titik 2 (HB 62) | 0,02 | 12,50 |
| | Titik 3 (HB 63) | 0,03 | 10,00 |
| 7 | Titik 1 (HB 71) | 0,02 | 15,50 |
| | Titik 2 (HB 72) | 0,03 | 14,80 |

Sumber: Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, 2008

Material Lokal

Hasil survey ke lokasi penelitian (Rawa Pitu) diketahui informasi terkait kayu lokal yang dapat digunakan sebagai bahan pondasi cerucuk. Kayu tersebut adalah kayu gelam yang banyak dijumpai di Rawa Pitu. Pemilihan kayu gelam sebagai material lokal yang akan dimanfaatkan sebagai bahan pondasi cerucuk, didasari oleh beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- Kayu gelam telah dimanfaatkan oleh penduduk setempat sebagai bahan utama tambatan perahu di saluran primer dan sungai Pidada serta Tulang Bawang
- Pemanfaatan kayu gelam sebagai bahan utama tambatan perahu menunjukkan hasil yang baik, yakni material tersebut dapat bertahan dengan kondisi daerah rawa
- Kayu gelam banyak tumbuh secara alami di sekitar Rawa Pitu.

Pemilihan kayu gelam (*Melaleuca cajuputi sub sp. cumingiana*) juga didasari pada sifat mekanik kayu gelam. Supriyati W., dkk (2009) telah melakukan penelitian terhadap sifat mekanik kayu gelam meliputi Berat Jenis, Kuat Tekan, Modulus Elastisitas (*Modulus of Elasticity, MOE*), Kuat Lentur (*Modulus of Rupture, MOR*), dan Tegangan pada Batas Proporsi. Rincian hasil penelitian sifat mekanik kayu gelam ditabulasikan berikut.

Efisiensi Kelompok Tiang Pancang

Sebelum melakukan perhitungan daya dukung setiap model pondasi, terlebih dahulu dilakukan penetapan spasi (jarak antar as tiang pancang, S) untuk mendapatkan nilai efisiensi kelompok tiang pancang ($E_g \geq 70\%$) dengan batasan $S \leq$ diameter tiang pancang (D). Hasil perhitungan didapat nilai spasi adalah 40, 50, 60, dan 70 cm.

Tabel.3 Sifat Fisik dan Mekanik Kayu Gelam

| Parameter | Gelam Baru/Lama | Nilai |
|---------------------------------------------------|-----------------|-----------|
| BJ KU | G baru | 0,63 |
| | G lama | 0,67 |
| BJ KT | G baru | 0,69 |
| | G lama | 0,74 |
| K Tekan (N/mm ²) | G baru | 47,79 |
| | G lama | 43,04 |
| MOE (N/mm ²) | G baru | 12.772,00 |
| | G lama | 11.151,00 |
| MOR (N/mm ²) | G baru | 98,96 |
| | G lama | 90,08 |
| Tegangan pada batas Proporsi (N/mm ²) | G baru | 84,47 |
| | G lama | 90,08 |

Sumber: Supriyati W., 2008

Analisis Daya Dukung Model

Setelah mendapatkan nilai efisiensi kelompok tiang pancang, selanjutnya dilakukan perhitungan daya dukung (Q1, Q2, dan Q3) untuk setiap model pondasi (M1, M2, dan M3). Dengan membandingkan nilai Q1, Q2, dan Q3 untuk setiap model pondasi maka akan dipilih nilai daya dukung menentukan yaitu nilai daya dukung minimal. Hasil perhitungan daya dukung masing-masing model ditabulasikan berikut.

Tabel 4. Daya Dukung Model 1

| Spasi | s (m) | A (m ²) | Efisiensi | Q (kg) | Q (kg/m ²) | Type |
|-------|-------|---------------------|-----------|----------|------------------------|---------------|
| 0,40 | 1,72 | 2,96 | 0,703 | 928,80 | 313,95 | Block Failure |
| 0,50 | 2,12 | 4,49 | 0,760 | 1.074,53 | 239,08 | Single Pile |
| 0,60 | 2,52 | 6,35 | 0,799 | 1.129,47 | 177,86 | Single Pile |
| 0,70 | 2,92 | 8,53 | 0,827 | 1.169,24 | 137,13 | Single Pile |

Sumber: Perhitungan, 2013

Tabel 5. Daya Dukung Model 2

| Spasi | s (m) | A (m ²) | Efisiensi | Q (kg) | Q (kg/m ²) | Type |
|-------|-------|---------------------|-----------|----------|------------------------|---------------|
| 0,40 | 1,72 | 2,96 | 0,703 | 928,80 | 313,95 | Block Failure |
| 0,50 | 2,12 | 4,49 | 0,760 | 1.098,79 | 244,48 | Single Pile |
| 0,60 | 2,52 | 6,35 | 0,799 | 1.154,97 | 181,87 | Single Pile |
| 0,70 | 2,92 | 8,53 | 0,827 | 1.195,63 | 140,23 | Single Pile |

Sumber: Perhitungan, 2013

Tabel 6. Daya Dukung Model 3

| Spasi | s (m) | A (m ²) | Efisiensi | Q (kg) | Q (kg/m ²) | Type |
|-------|-------|---------------------|-----------|----------|------------------------|---------------|
| 0,40 | 1,72 | 2,96 | 0,703 | 928,80 | 313,95 | Block Failure |
| 0,50 | 2,12 | 4,49 | 0,760 | 1.110,92 | 247,18 | Single Pile |
| 0,60 | 2,52 | 6,35 | 0,799 | 1.167,72 | 183,88 | Single Pile |
| 0,70 | 2,92 | 8,53 | 0,827 | 1.208,83 | 141,78 | Single Pile |

Sumber: Perhitungan, 2013

Terlihat bahwa pada jarak spasi 40 cm, semua model menghasilkan daya dukung yang sama. Sehingga dapat dijelaskan bahwa pada jarak spasi tersebut posisi tiang (tegak/miring) tidak berpengaruh pada daya dukung pondasi yang dihasilkan.

Sedangkan pada jarak spasi 50, 60, dan 70 cm terlihat bahwa daya dukung yang dihasilkan berbeda atau daya dukung model kesatu (Q_{M1}) kurang dari daya dukung model kedua (Q_{M2}) dan daya dukung model kedua (Q_{M2}) kurang dari daya dukung model ketiga (Q_{M3}). Hasil tersebut menunjukkan bahwa posisi tiang pancang miring akan berpengaruh pada jarak spasi yang tidak rapat (50, 60, dan 70 cm) atau pada nilai efisiensi kelompok tiang pancang (E_g) lebih dari atau sama dengan 76%.

Pemeriksaan Kekuatan Kayu Gelam

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban maksimum yang dapat didukung oleh kelompok tiang pancang adalah 1.208,83 kg. Beban tersebut dapat didukung oleh kelompok tiang pancang yang memanfaatkan gesekan antara tiang pancang dan tanah tanpa mempertimbangkan kekuatan tiang (kayu gelam). Untuk itu perlu diselidiki kemampuan material tiang (kayu gelam) dalam menahan beban. Perhitungan dalam rangka pemeriksaan kekuatan kayu dilakukan dengan menguji Kuat Tekan kayu gelam terhadap beban yang akan didukung. Perhitungan dilakukan dengan data dan prosedur sebagai berikut:

- Beban rencana maksimum (P_{max})=1.208,83 kg
- Kuat Tekan (σ_{tekan})=43,04 N/mm² (439 kg/cm²)
- Jumlah tiang (n)=25 buah
- Beban setiap tiang (P_i)

$$P_i = \frac{P_{max}}{n} = \frac{1.208,83}{25} = 48,35 \text{ kg}$$

- Luas penampang tiang (A)

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi 12^2 = 113,1 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} : \frac{P_i}{A} &\leq \frac{\sigma_{tekan}}{SF} \\ \frac{48,35 \text{ kg}}{113,10 \text{ cm}^2} &\leq \frac{439 \text{ kg/cm}^2}{2} \\ 0,43 \text{ kg/cm}^2 &\leq 219,5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa material pondasi tiang pancang (kayu gelam) mampu menahan beban maksimum yang direncanakan berdasarkan daya dukung kelompok tiang pancang.

KESIMPULAN

Hasil penelitian mendapatkan beberapa kesimpulan, meliputi:

- Tanah rawa lebak dominan lempung dengan kadar air tinggi (131,21%) memiliki kohesi antara 0,01-0,05 dan sudut geser dalam rerata 9,73°
- Kayu gelam potensial digunakan sbg material pondasi tiang pancang untuk daerah rawa karena merupakan tanaman (pohon) asli rawa
- Spasi (S) berbanding lurus dengan efektivitas (E_g) kelompok tiang pancang
- Pada nilai spasi 0,4 m ($\leq 3,33 D$) pemasangan tiang miring tidak berpengaruh terhadap daya dukung kelompok tiang pancang
- Pada nilai spasi 0,4; 0,5; 0,6; & 0,7 m ($3,33 D < S \leq 6D$) pemasangan tiang miring berpengaruh (berbanding lurus) terhadap daya dukung kelompok tiang pancang
- Model pondasi ketiga (M3) dengan $3,33 D < S \leq 6D$ adalah model pondasi yang paling efektif dalam menghasilkan daya dukung terhadap bangunan di atasnya.

DAFTAR PUSTAKA

Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung (BBWS MS). 2008. Detail Desain Penyempurnaan Jaringan Reklamasi Rawa Untuk Peningkatan Potensi Pendayagunaan Lahan Rawa Pitu. Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung (BBWS MS). Bandar Lampung

Departemen Transmigrasi. 1988. Regional Phisycal Planning Programme for Transmigration. Departemen Transmigrasi. Jakarta

Dunn I. S., Anderson L. R., Kiefer F. W. 1980. Fundamental of Geotechnical Analysis. John Wiley and Sons. United State of America

Setyanto. 1999. Rekayasa Pondasi II. Fakultas Teknik Universitas Lampung dan HEDS – JICA Project. Bandar Lampung

Supriyati W., Prayitno T.A., Marsoem S.N., Alpian. 2009. Ketahanan Sifat Kayu Gelam (*Melaleuca cajuputi* sub sp.cumingiana). Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XII. Bandung

Tjandrawibawa S., Efendy J., Gunawan W. 2000. Peningkatan Daya Dukung Pondasi Dangkal dengan Menggunakan Cerucuk (Suatu Studi Model). Jurnal Dimensi Teknik Sipil Vol.2 No.2 ISSN 1410-9530. Surabaya