

KAJIAN PENINGKATAN TEGANGAN IJIN LEMPUNG LUNAK DI LAHAN BANGUNAN KOTA CINEMA MALL BANJARMASIN

Oleh:

Hikmad Lukman

ABSTRAK

Sebagian besar lapisan tanah di pulau Kalimantan dan pulau Sumatera, terutama di pesisir pantai berupa tanah gambut terdiri dari lempung lunak dan hamparan lahan gambut yang berasal dari humus tumbuh-tumbuhan dengan ketebalan yang cukup besar. Sifat tanah gambut mempunyai kompresibilitas yang besar, gaya geser yang rendah, koefisien permeabilitas yang rendah dan mempunyai daya dukung yang rendah. Pada kajian ini, penelitian dilakukan pada lahan dimana akan dibangun bangunan Kota Cinema Mall Banjarmasin di Jalan Belitung Banjarmasin Provinsi Kalimantan Selatan. Hasil tegangan konus pada percobaan Sondir yang diperoleh sampai kedalaman 30 m bernilai kecil (1 - 15 kg/cm²) yang mencirikan bahwa lapisan tanah tersebut adalah lembek. Berdasarkan hasil perhitungan tegangan ijin menggunakan metoda De Beer, untuk kedalaman 1,5 m diperoleh besarnya tegangan ijin tanah pondasi Dangkal hanya sebesar 0,084 kg/cm². Untuk meningkatkan besarnya daya dukung, maka diperlukan metoda perbaikan tanah dengan menggunakan cerucuk dari kayu dolken. Berdasarkan hasil perhitungan besarnya daya dukung pondasi dalam untuk kumpulan tiang dolken diameter 10 cm dengan panjang bervariasi 7,5 – 9,0 m diperoleh besarnya daya dukung kombinasi pondasi Dangkal dan pondasi Dalam terjadi adanya peningkatan besarnya daya dukung menjadi sebesar 0,42 kg/cm². Besarnya tegangan ijin tanah kombinasi pondasi Dangkal dan penggunaan tiang dolken meningkat menjadi sebesar **0,51 kg/cm²**. Selanjutnya berdasarkan perhitungan besarnya penurunan tanah akibat penurunan seketika dan penurunan akibat konsolidasi dengan beban luar 3,5 t/m² diperoleh sebesar 71 cm untuk beban sekaligus atau 36 cm untuk asumsi beban bekerja secara lambat laun.

Kata kunci: *lempung lunak, tanah gambut, dolken, tegangan ijin tanah*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagaimana diketahui bahwa Negara Indonesia terdiri dari banyak pulau dimana sebagian pulaunya termasuk Pulau Kalimantan, kondisi lahannya merupakan hamparan lahan gambut dan lapisan tanah lempung lunak.

Tanah lunak berupa tanah gambut dan lempung lembek ini berasal dari bahan organik dengan ketebalan sampai puluhan meter dan mempunyai perilaku fisik dan mekanik yang buruk, yaitu mempunyai tegangan ijin tanah yang kecil, mempunyai kompresibilitas yang besar dan permeabilitas yang rendah.

Hasil sondir dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Transportasi Politeknik Negeri Banjarmasin mendapatkan klasifikasi tanah sangat lunak sampai lunak dengan ketebalan tanah lempung lembek kurang lebih 30 m, dengan nilai tegangan konus sekitar 1 – 4 kg/cm², sementara lapisan tanah keras dijumpai pada kedalaman 36,0 m.

Tersedianya bahan kayu dolken sebagai bahan Kearifan Lokal membantu meningkatkan tegangan ijin tanah sebagai upaya untuk kegiatan Perbaikan Tanah.

1.2 Maksud dan Tujuan Pekerjaan

Maksud dari kajian ini adalah menghitung besarnya tegangan ijin (daya dukung) tanah eksisting menggunakan rumus pondasi Dangkal

dan menghitung besarnya daya dukung pondasi kelompok tiang dolken.

Tujuan dari Kajian ini adalah mencari cara untuk meningkatkan tegangan ijin pondasi Dangkal dengan melakukan pekerjaan perbaikan tanah menggunakan cerucuk tiang dolken sekitar jalur pondasi Dangkal. Tegangan ijin tanah ditingkatkan dengan cara mengkombinasikan tegangan tanah ijin pondasi Dangkal dengan daya dukung kumpulan tiang dolken.

1.3 Metodologi Perhitungan

Menghitung besarnya tegangan ijin pondasi Dangkal menggunakan rumus-rumus statis dari beberapa metoda dan menghitung besarnya daya dukung kelompok tiang dolken berdasarkan rumus-rumus daya dukung pondasi Dalam. Proses perhitungannya menggunakan beberapa skenario lebar pondasi. Besarnya tegangan ijin tanah diambil dari nilai terkecil hasil pekerjaan scenario tersebut.

1.4 Pembatasan Masalah

- Perbaikan tanah menggunakan bahan tiang dari kayu dolken ukuran D.10 cm, jarak as ke as tiang diambil sebesar 30 cm (3d).
- Parameter tanah yang digunakan berasal dari data Hasil penyelidikan tanah laboratorium Geoteknik dan Transportasi Politeknik Negeri Banjarmasin.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pondasi Dangkal

Pondasi Dangkal dengan kriteria menurut Terzaghi dengan rumusan $D_f/B \leq 1$, Pada umumnya pondasi ini digunakan untuk pondasi bangunan bertingkat 3. Beban yang diterima pondasi akan disalurkan ke tanah disekitarnya melalui pondasi bentuk: persegi empat, bujur sangkar dan menerus.

Tegangan tanah yang terjadi di dasar pondasi harus lebih kecil dari pada tegangan tanah ijin (*allowable*) dan penurunan tanah yang terjadi harus lebih kecil dari penurunan tanah yang diizinkan..

Besarnya tegangan tanah yang diizinkan tergantung dari besarnya tegangan batas (*ultimate*), dimana tegangan batas diperoleh dari hasil perhitungan cara Statis maupun cara dinamis menggunakan parameter tanah hasil penyelidikan tanah baik di laboratorium maupun di lapangan. Banyak metoda yang digunakan untuk menghitung besarnya daya dukung batas tersebut.

Perhitungan Tegangan Tanah Ijin:

Besarnya tegangan ijin tanah (Daya Dukung) pada pondasi Dangkal dapat diperoleh dari hasil penyelidikan tanah di lapangan. Berdasarkan hasil percobaan alat Sondir, De Beer mengusulkan persamaan empiris untuk menentukan besarnya tegangan tanah ijin untuk pondasi Dangkal.

1. Jenis pondasi Jalur dan Bujursangkar
 - $q_a = q_c/30$ (kg/cm^2), untuk $B \leq 1,2$ m
 - $q_a = q_c \cdot [1 + (1/B)]^2/50$ (kg/cm^2), untuk $B > 1,2$ m
2. Jenis Pondasi Dangkal pada umumnya:
 - a. $q_a = q_c/40$ (kg/cm^2),
 - b. Besarnya daya dukung Pondasi Dangkal pada tanah clay menggunakan data hasil Laboratorium menurut rumus Terzaghi berdasarkan keruntuhan umum local, dapat menggunakan rumus:
 - $q_u = 0,67 \cdot c \cdot N_c' + D_f \cdot \gamma \cdot N_q' + 0,5 \cdot \gamma \cdot B N_{\gamma}'$, untuk pondasi jalur,
 - $q_u = (2/3) \cdot c \cdot N_c \cdot (1 + 0,3B/L) + p_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B N_{\gamma} \cdot (1 - 0,2B/L)$, untuk pondasi persegi panjang.

2.2 Pondasi Dalam

Pondasi Dalam dikriteriakan oleh Terzaghi dengan rumusan $D_f/B \gg 1$. Beban yang diterima pondasi akan disalurkan ke tanah disekitarnya melalui ujung bawah pondasi dan atau melalui sekeliling badan sepanjang tiang yang masuk kedalam tanah.

Pada umumnya ujung pondasi akan mencapai lapisan tanah keras supaya mendapatkan daya dukung yang besar dan menghindari adanya peristiwa penurunan tanah, namun pada kondisi tertentu ujung tiang tersebut tidak mencapai tanah keras, sehingga lapisan tanah di bawahnya masih memungkinkan terjadinya penurunan tanah.

Beban aksial yang terjadi di dasar pondasi harus lebih kecil dari pada beban aksial ijin (*allowable*) serta penurunan tanah yang terjadi harus lebih

kecil dari penurunan tanah yang diizinkan. Beban aksial yang diijinkan dicari berdasarkan beban aksial batas yang dapat diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan banyak metoda.

2.2.1 Daya dukung tanah aksial pondasi Tiang Tunggal

Pada umumnya merupakan perjumlahan dari 2 komponen, yaitu tahanan pada ujung tiang dan tahanan geser di sepanjang tubuh tiang:

$$Q_{ult} = Q_{sult} + Q_{pult}$$

Q_{sult} = Tahanan Geser Selimut ultimate

Q_{pult} = Tahanan Ujung Tiang ultimate

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{FK} = \frac{Q_{ult \text{ ujung tiang}}}{FK \text{ ujung tiang}} + \frac{Q_{ult \text{ selimut tiang}}}{FK \text{ selimut tiang}}$$

Dimana:

- $FK_{\text{ujung tiang}} = 3$
- $FK_{\text{selimut tiang}} =$ diambil 3 untuk tiang pancang dan 5 untuk tiang bor/sumuran.

- a. Perhitungan Pondasi Tiang berdasarkan test Sondir umumnya menggunakan Schmertmann - Nottingham (1975) menganjurkan perhitungan daya dukung ujung pondasi tiang menurut cara Begemann (1963, 1965) berdasarkan rata-rata tegangan konusnya pada ketinggian tertentu, yaitu:

$$Q_{b \text{ ijin}} = \frac{qc_1 + qc_2}{2} \cdot A_b / FK$$

Dimana:

- $Q_{b \text{ ijin}}$ = daya dukung ijin ujung tiang [kg]
- qc_1 = nilai q_c rata-rata 0 D - 4 D di bawah ujung pondasi [kg/cm^2]
- qc_2 = nilai q_c rata-rata 0 D - 8 D di atas ujung pondasi [kg/cm^2]
- A_b = luas proyeksi penampang tiang ujung pondasi [cm^2]
- FK_b = faktor keamanan Ujung Tiang, diambil 3 sampai 5

Untuk Daya dukung Sisi Tiang, nilai friksi dapat diambil dari nilai Jumlah Hambatan Pelekat (JHP):

$$Q_{sijin} = p \cdot JHP / FK_s$$

Dimana:

- $Q_{s \text{ ijin}}$ = daya dukung ijin sisi tiang [kg]
- JHP = Jumlah Hambatan Pelekat [kg/cm]
- P = perimeter tiang pondasi [cm]

- FK_s = Faktor keamanan sisi tiang, diambil = 2 - 3

- b. Kapasitas daya dukung ujung untuk tanah lempung lunak, berdasarkan hasil Laboratorium menggunakan Metoda Meyerhoff/Tomlinson:

$$Q_{ult \text{ ujung tiang}} = A_b \cdot c \cdot N_c' = 9 \cdot A_b \cdot c$$

Dimana: c = kohesi tanah menggunakan Test U-U, $N_c' = 9$

Rumus daya dukung sisi Tiang (friksi) dapat diperoleh dari beberapa rumus yang dikenal, seperti: cara α dari Tomlinson, Cara λ dari Vijayvergiya dan Focht, cara β , dan cara lainnya.

Untuk Cara Alpha, α Dari Tomlinson dapat digunakan untuk tanah berbutir halus (tanah berkohesi), tanah berbutir kasar (tanah bersudut geser dalam), maupun tanah pada umumnya (tanah berkohesi dan bersudut geser dalam).

Untuk tanah kohesif, besarnya daya dukung ijin geser dapat dicari dari persamaan:

$$Q_{ult \text{ sisi tiang}} = A_s \cdot \sum f = A_s \cdot \sum [\alpha \cdot c_u], \text{ atau: } Q_{ult \text{ sisi tiang}} = p \cdot \int_0^L \alpha \cdot c_u \cdot dL$$

Dimana:

- F = tahanan geser badan tiang dan tanah diselilingnya.
- α = faktor adhesi,
- p = keliling tiang
- ΔL = panjang elemen tiang

2.2.2 Daya Dukung Kelompok Tiang

Dalam buku Principles Of Foundation Engineering karangan Braja M. Das dan Pile Construction and Construction Practice karangan M.J Tomlinson menyatakan bahwa pada tanah clay, besarnya daya dukung kelompok tiang perlu ditinjau berdasarkan 2 macam keruntuhan, yaitu: keruntuhan masing-masing 1 tiang dan keruntuhan kelompok tiang (*block failure*).

Rumus Daya Dukung kelompok tiang yang digunakan untuk kondisi :

- Keruntuhan dari Satu Tiang, untuk $s > 2D$:

$$Q_{u \text{ kelompok}} = E \cdot n \cdot Q_b$$

Besarnya faktor efisiensi kelompok tiang (E) dapat dihitung berdasarkan Rumusan "uniform Building Code" menurut AASHO:

$$E = 1 - \left(\frac{\theta}{90^\circ}\right) \left[\frac{[(m-1)n+(n-1)m]}{m.n}\right],$$

dimana: $\theta = \arcsin\left(\frac{d}{s}\right)$, m = jumlah baris, n = jumlah kolom kumpulan tiang

➤ Keruntuhan Blok Kelompok Tiang:

$$Q_{u \text{ kelompok}} = 2D_p.(B + L).c_{av} + 1,3 c.N_c.B.L$$

- Dimana:
 D_p = panjang tiang tertanam
 B, L = Lebar, Panjang kelompok tiang,
 c_{av} = kohesi rata-rata di atas ujung tiang
 c = kohesi tanah di bawah ujung tiang
 N_c = faktor daya dukung
 Besarnya daya dukung batas kelompok tiang diambil nilai terkecil dari 2 tinjauan tsb.

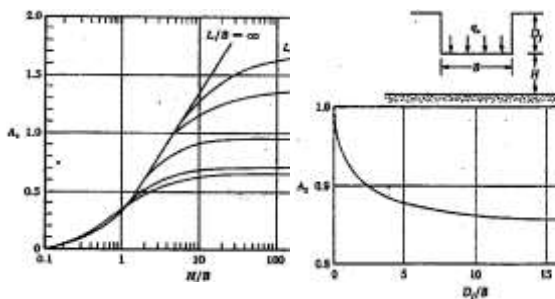
2.3 Penurunan Tanah

Penurunan tanah dihitung berdasarkan perjumlahan dari besarnya penurunan tanah Seketika (Elastis) dan penurunan akibat konsolidasi.

- a. Penurunan tanah Seketika/Immediately (Elastis) Pada Clay Jenuh.
 Janbu, Bjerrum & Kjaerum (1956) mengusulkan persamaan penurunan elastis rata – rata dengan rumus:

$$S_e = A_1.A_2.(q_o.B/E_s)$$

Dimana: A_1 fungsi H/B & L/B & A_2 fungsi D_f/B yang dimodifikasi oleh Christian & Carrier (1978), seperti pada Gambar 2.



1. A1

2. A2

Gambar 2. Harga A_1 & A_2 Untuk Perhitungan Elastis

- b. Penurunan Konsolidasi pada Kelompok Tiang
 Besarnya penurunan tanah di bawah pondasi kelompok tiang dapat dicari dari ketentuan

dapat menggunakan Metode 2:1 atau menggunakan grafik seperti pada pondasi Dangkal. Panjang tiang L dan beban vertikal total yang bekerja pada kelompok tiang V. Beban V ini dianggap disebar merata kedalam tanah mulai pada kedalaman $1L/3$ dari kepala kelompok tiang (dasar pile cap). Jarak z diukur ke bawah mulai pada kedalaman $2L/3$ tersebut untuk mendapatkan tegangan tambahan akibat beban luar (Δp) = $I.q_o$. (I = faktor pengaruh).

III METODOLOGI KAJIAN

- a. Data Tanah

Data tanah diambil dari laporan penyelidikan tanah Laboratorium Geoteknik dan Transportasi Politeknik Negeri Banjarmasin pada kedalaman 3.20 m seperti pada Tabel 1., sementara berdasarkan hasil Sondir 2 titik, lapisan tanah dilokasi mendapatkan deskripsi tanah seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Kesimpulan Hasil Pemeriksaan Test Tanah Undisturb di Laboratorium

| Jenis Pemeriksaan | B1 / 3.00 m - 3.40 m | Jenis Pemeriksaan | B1 / 3.00 m - 3.40 m |
|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Wn (%) | 86.17 | q_u (kg/cm ²) | 0.090 |
| γ_n (g/cm ³) | 1.321 | q_r (kg/cm ²) | 0.048 |
| Gs | 2.329 | St | 1.875 |
| LL | 57.25 | Cc | 0.815 |
| PL (%) | 37.62 | Cs | 0.197 |
| PI (%) | 19.63 | Cv (cm ² /det) | 0.0000768 |
| C' (kg/cm ²) | 0.350 | k (cm/det) | 1.17426E-08 |
| ϕ' (°) | 0 | e_v | 1.9090 |
| Cu (kg/cm ²) | 0.045 | e' | 0.9623 |

Sumber: Lab. Laboratorium Geoteknik dan Transportasi Politeknik Negeri Banjarmasin

Tabel 2. Deskripsi Tanah

Tabel 1. Deskripsi Tanah Hasil Uji Sondir Titik 5.1

| Kedalaman | Deskripsi | Klasifikasi |
|---------------|-----------|--------------|
| 00.40 - 00.60 | Lempung | Sedang |
| 00.60 - 25.60 | Lempung | Sangat Lunak |
| 25.60 - 27.60 | Lempung | Lunak |
| 27.60 - 30.60 | Lempung | Sedang |
| 30.60 - 31.40 | Lempung | Kaku |
| 31.40 - 35.60 | Lempung | Sangat Kaku |
| 35.60 - 36.00 | Pasir | Padat |
| 36.00 - 36.40 | Pasir | Sangat Padat |

Tabel 2. Deskripsi Tanah Hasil Uji Sondir Titik 5.2

| Kedalaman | Deskripsi | Klasifikasi |
|---------------|-----------|--------------|
| 00.40 - 24.60 | Lempung | Lunak |
| 24.60 - 29.60 | Lempung | Sedang |
| 29.60 - 30.80 | Lempung | Kaku |
| 30.80 - 35.80 | Lempung | Sangat Kaku |
| 35.80 - 36.40 | Pasir | Padat |
| 36.40 - 36.80 | Pasir | Sangat Padat |

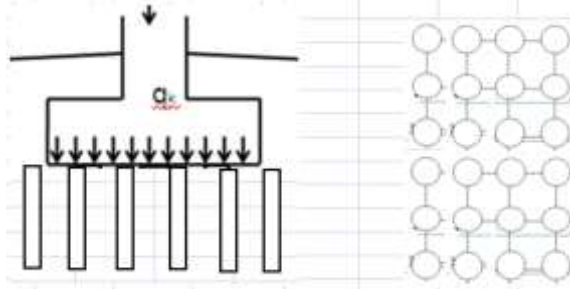
Sumber: Lab. Laboratorium Geoteknik dan Transportasi Politeknik Negeri Banjarmasin

- b. Pelaksanaan Skenario Lebar Pondasi Dangkal

Untuk mendapatkan besarnya peningkatan tegangan ijin tanah menggunakan bantuan tiang dolken, maka dilakukan skenario perhitungan penambahan besarnya tegangan ijin tanah. Dalam hal ini diasumsikan menggunakan bentuk persegi panjang, kedalaman pondasi dangkal 1,50 m dari permukaan tanah.

Dalam hal ini digunakan skenario panjang (L) pondasi: 3,5 m; 5,3 m dan 5,5 m yang divariasikan dengan lebar pondasi selebar: 1,2 m; 1,5 m; 1,8 m.

Gambar 3. Contoh dari Skenario formasi pemasangan kelompok tiang dolken



Gambar 3. Skenario Formasi Kelompok Tiang Dolken

c. Panjang dan Diameter Kayu Dolken

Panjang kayu dolken yang digunakan dipilih panjang 7,5 m – 9,0 m. sementara diameter Kayu Dolken yang digunakan berukuran 10 cm. Jarak antara sumbu kayu dolken diambil sebesar 3D, yaitu 30 cm.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan daya dukung ijin tanah menggunakan rumus-rumus seperti pada Bab.2 (Tinjauan Pustaka) dengan melakukan beberapa skenario ukuran pondasi persegi. Selanjutnya hasil-hasilnya dirangkum pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Daya Dukung Ijin Tanah Pondasi Dangkal

| Pondasi Dangkal | Tegangan Ijin Tanah (kg/cm ²) | | |
|-----------------|---|-----------------------|-------|
| | P.Dangkal | Kelompok Tiang Dolken | Total |
| 1,50 x 5,35 | 0,084 | 0,43 | 0,514 |
| 1,20 x 5,50 | 0,083 | 0,425 | 0,508 |
| 1,20 x 3,50 | 0,085 | 0,449 | 0,534 |
| 1,5 x 5,50 | 0,084 | 0,418 | 0,502 |

Berdasarkan hasil perhitungan besarnya penurunan tanah total ukuran pondasi 1,5 x 5 m² dan 2,0 x 5 m² dengan beban luar 3,5 t/m² dan 2,5 t/m², diperoleh besarnya penurunan total seperti pada Tabel 4.

Perhitungan penurunan ini menggunakan asumsi beban bekerja sekaligus, sementara pada kenyataannya pembangunan butuh waktu, beban luar & berat sendiri bekerja secara lambat laun, jadi penurunan yang sebenarnya terjadi lebih kecil dari penurunan teoritis artinya hasil penurunan dapat direduksi 50% nya.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Besarnya Penurunan Tanah (cm)

| Penurunan Tanah | Lebar Pondasi Persegi, B | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | 1,50 m | | 2,0 m | |
| | q _o = 3,5 t/m ² | q _o = 2,5 t/m ² | q _o = 3,5 t/m ² | q _o = 2,5 t/m ² |
| S.Elastis, S _e | 49,7 | 35,5 | 60,6 | 43,3 |
| | 0 | 0 | 6 | 3 |
| S.Konsolidasi, S _c ,cm | 21,4 | 15,4 | 21,4 | 15,4 |
| | 9 | 9 | 9 | 9 |
| S.total (teoritis), cm | 71,1 | 50,9 | 82,1 | 58,8 |
| | 9 | 9 | 5 | 2 |
| S. total actual, cm | 35,5 | 25,4 | 41,0 | 29,4 |
| | 9 | 9 | 7 | 1 |

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Tegangan ijin tanah, (σ_i) pondasi Dangkal tanah eksisting tanah lempung lunak pada kedalaman 1,5 m dari muka tanah hanya sebesar **0,084 kg/cm²**,
2. Untuk meningkatkan daya dukung tanah (σ_i) ijin perlu ada pekerjaan perbaikan tanah menggunakan cerucuk tiang, dalam hal ini menggunakan bahan kayu dolken diameter 10 cm yang banyak dijumpai di lokasi, dalam hal ini dari hasil perhitungan diperoleh tambahan sebesar **0,42 kg/cm²**,
3. Besarnya tegangan ijin tanah (σ_i) akibat kombinasi pondasi Dangkal dan penggunaan tiang dolken dapat diambil sebesar **0,51 kg/cm²**
4. Berdasarkan perhitungan besarnya penurunan tanah akibat penurunan seketika dan penurunan akibat konsolidasi dengan beban luar 3,5 t/m² sebesar 71 cm untuk beban sekaligus atau 36

cm untuk asumsi beban bekerja secara lambat laun.

5.2 Saran

1. Dalam menentukan besarnya dimensi pondasi Dangkal dengan penambahan tiang kayu dolken perlu diperhitungkan besarnya beban yang dipikul, penurunan tanah akibat Elastisitas tanah lunak dan penurunan akibat konsolidasi tanah lunak tersebut.
2. Untuk pondasi yang menerima beban yg cukup besar, sehubungan dengan besarnya penurunan tanah yang terjadi akibat Elastisitas tanah dan peristiwa konsolidasi, besarnya tegangan ijin tanah (σ_t) akibat penggunaan tiang dolken dapat diturunkan menjadi sebesar **0,25 – 0,30** kg/cm²,
3. Sehubungan dengan saran di atas, diusulkan menggunakan pondasi Dangkal jalur/menerus kaku.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowles, JE, Foundation Analysis and Design, fifty Edition 1996,
- [2] Das, Braja M., Principles of Foundation Engineering, 1990,
- [3] Hardiyatmo, Hary Christady. 2008. *Teknik Pondasi 2*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.Hardiyatmo,
- [4] Hary Christady. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi I. Edisi Kedua*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [5] Muhrozi, “Konsep Perhitungan Cerucuk Bambu Sebagai Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah”, Semarang
- [6] Raharjo, P. P., 2005, Manual Pondasi Tiang Edisi 3, GEC-Geotechnical Engineering Centre, Bandung.
- [7] Tomlinson, M.J, Pile Design and Construction Practice, A viewpoint Publication, 1977.

PENULIS

Ir. Hikmad Lukman, MT., Staf Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor