

# ANALISIS PERKUATAN TANAH DASAR PADA TANGGUL SUNGAI GAJAH PUTIH SURAKARTA DENGAN CERUCUK KAYU

Ridwan Hermawan<sup>1)</sup>, Niken Silmi Surjandari<sup>2)</sup>, Sholihin As'ad<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup> Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln. Ir. Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail : tekad\_gue@yahoo.co.id

## Abstract

Local Government of Surakarta has implemented treatment program for retaining wall that collapse in eastern Tempurejo Bridge, Sumber, Banjarsari. The cause is base course including the soft soil which can be caused by former squatters wells, and added by vegetation that make the soil more friable. The other cause is many people use it to access the vehicles, including heavy vehicles that take minerals from Gajah Putih River resulted heavy loads for retaining wall and base course. This condition continue to the soil support capacity failure of retaining wall. DPU Surakarta use wood pile as treatment solution to repairing base course for raising the soil support capacity. Wood pile can be analogous to a short pile, this is type foundation that widely used in soft soil, especially for support a heavy loads. So the researcher did an analysis on wood pile to find the value of safety factor (SF) from retaining wall stability and wood pile stability with various ground water level. Furthermore, to find the effect for various wood pile configuration that is piles length and space between piles which used in group pile to get the optimum configuration. The analysis of manual calculation used Hansen, Rankine and Terzaghi methods. The analysis result shown that retaining wall lacks of shear stability and soil support capacity to withstand the internal dead load and external life load. By using wood pile the shear stability and soil support capacity has increased. Increment length of piles gave increasing of soil support capacity and lateral force resistance. In the other way, increment space between piles gave decreasing of soil support capacity. From analysis result in various configuration, 7L 2,5d is the configuration that generates the optimum safety factor which mean group pile used 7m length and space between piles used 2,5d where d is 0,2m.

**Keywords:** factor, foundation, landslides, pile, safety, SF, soft, soil, stability, wood.

## Abstract

Pemerintah Daerah Surakarta telah melaksanakan program perbaikan tanggul yang longsor di timur jembatan Tempurejo, Sumber, Banjarsari. Penyebabnya tanah bagian bawah tanggul termasuk tanah lunak (lempung), yang dapat diakibatkan oleh adanya sumur-sumur bekas hunian liar, ditambah oleh vegetasi diatas tanggul yang menjadikan tanah semakin gembur. Diperparah oleh warga yang memanfaatkan badan tanggul untuk akses kendaraan, termasuk kendaraan berat yang mengambil mineral dari Sungai Gajah Putih mengakibatkan mengakibatkan beban tanah bertambah berat. Hal ini menyebabkan keruntuhan pada stabilitas daya dukung tanah pada tanggul. DPU Surakarta menggunakan cerucuk kayu sebagai perbaikan tanah dasar untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah. Cerucuk kayu dapat dianalogikan sebagai *short pile*. yaitu tipe pondasi yang banyak digunakan pada lapisan tanah lunak terutama untuk memikul beban yang cukup besar. Maka peneliti melakukan analisis pada cerucuk kayu untuk mengetahui nilai faktor aman (SF) stabilitas pada dinding penahan tanah (tanggul) dan kelompok tiang cerucuk pada beberapa variasi muka air tanah. Lebih jauh lagi untuk mengetahui pengaruh variasi pada konfigurasi cerucuk kayu yaitu panjang tiang (L) dan jarak antar tiang (s), juga dikaji untuk mendapatkan konfigurasi yang menghasilkan faktor aman dinding penahan tanah yang optimum. Analisis berupa perhitungan manual faktor aman (SF), yaitu dengan menggunakan metode Terzaghi. Hasil analisis menunjukkan bahwa tanggul memiliki stabilitas geser dan stabilitas daya dukung tanah yang tidak memadai dalam menahan beban mati dan beban hidup. Dengan digunakannya cerucuk kayu stabilitas geser dan stabilitas daya dukung tanah bertambah. Penambahan panjang tiang memberikan kenaikan kapasitas dukung dan tahanan gaya lateral. Sedangkan penambahan jarak antar tiang (s) memberikan penurunan pada kapasitas dukung tiang. Dari beberapa variasi konfigurasi cerucuk, konfigurasi 7L 2,5d adalah konfigurasi yang menghasilkan faktor aman optimum, yang berarti kelompok tiang menggunakan panjang tiang 7m dan jarak antar tiangnya 2,5d dimana d yang digunakan 0,2m.

**Kata kunci :** cerucuk, faktor, kayu, lempung, longsor, pondasi, pancang, SF, stabilitas, tanah, tiang.

## PENDAHULUAN

Berdasarkan penelitian keterangan yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Kota Surakarta yang telah melakukan kajian kondisi tanggul Sungai Gajah Putih bersama peneliti dari Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS) berupa pengecekan kekerasan tanah tanggul, mengatakan bahwa tanah bagian bawah tanggul termasuk tanah lunak yang menyebabkan tanah tidak kuat menahan beban dan bergerak kebawah tanggul menggeser tanggul keluar sehingga tanggul pecah.

Dengan demikian sangat diperlukan adanya perbaikan tanah dasar dibawah konstruksi tanggul yang sesuai dengan kondisi rencana untuk menambah kapasitas daya dukung tanah. Perbaikan tanah yang dipilih oleh DPU Surakarta adalah penggunaan cerucuk kayu. Namun konfigurasi cerucuk kayu yang digunakan belum tentu optimum, yang artinya faktor aman (SF) mendekati angka minimum aman, maka dari itu diperlukan analisis lebih lanjut tentang cerucuk kayu terkait kelompok tiang yang tepat untuk digunakan pada lokasi tersebut bilamana terjadi keruntuhan di titik lain disepanjang Sungai Gajah Putih.

Penelitian ini mengkaji dan membahas tentang terjadinya keruntuhan tanggul di Sungai Gajah Putih Surakarta, dan menganalisis tanggul baru yang diberi perkuatan tanah dasar berupa cerucuk kayu dengan beberapa konfigurasi kelompok tiang untuk mengetahui konfigurasi yang optimum.

## LANDASAN TEORI

Lereng (*slope*) adalah permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal. Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor dengan memperkecil sudut kemiringan lereng.

Jika kondisi diatas tidak terpenuhi maka dapat digunakan dinding penahan tanah untuk mencegah kelongsoran. Dinding penahan tanah adalah struktur yang didesain untuk menjaga dan mempertahankan dua muka elevasi tanah yang berbeda (Coduto, 2001). Bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Stabilitas dinding penahan tanah ditinjau pada beberapa hal yaitu geser, guling dan daya dukung tanah.

Pada tanah dasar yang lunak dinding penahan tanah umumnya harus mempunyai ukuran yang besar untuk dapat memenuhi stabilitas daya dukungnya, namun karena keterbatasan luas hal ini sulit untuk dicapai. Untuk memenuhi kebutuhan daya dukung tanah maka tanah dasar yang lunak diberi perkuatan seperti tiang pancang, *minipile*, *soil-semen* dan geotekstil.

Tiang pancang atau cerucuk adalah tipe pondasi yang banyak digunakan pada lapisan tanah lunak terutama untuk memikul beban yang cukup besar. Cerucuk banyak dipakai untuk meningkatkan daya dukung pondasi dan mengurangi penurunan yang akan terjadi karena memiliki beberapa keunggulan antara lain biaya yang relatif murah, bahan mudah didapat, pelaksanaannya sederhana, mudah dikontrol serta waktu pelaksanaannya yang singkat (Affandi, 2009).

Analisis stabilitas dinding penahan tanah (DPT) menggunakan rumus-rumus umum seperti berikut:

### 1. Stabilitas Penggeseran

$$F_{gs} = \frac{R_h}{P_h} \geq 2 \dots\dots\dots [1]$$

dimana,

$\Sigma R_h$  = tahanan DPT terhadap penggeseran

$\Sigma P_h$  = jumlah gaya-gaya horizontal

### 2. Stabilitas Penggulingan

$$F_{gl} = \frac{M_w}{M_{gl}} \geq 2 \dots\dots\dots [2]$$

dimana,

$\Sigma M_w$  = momen yang melawan penggulingan

$\Sigma M_{gl}$  = jumlah gaya-gaya horizontal

### 3. Stabilitas terhadap Kapasitas Daya Dukung

$$F_{dat} = \frac{q_u}{q} \geq 3 \dots\dots\dots [3]$$

dimana,

$q_u$  = kapasitas dukung tanah, dengan rumus

$q$  = tekanan akibat beban struktur

Untuk analisis tiang pancang menggunakan rumus-rumus umum:

1. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Tunggal

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \dots\dots\dots [4]$$

dimana,

$W_p$  = berat sendiri tiang

$Q_u$  = kapasitas dukung ultimit neto

$Q_b$  = tahanan ujung bawah ultimit

$Q_s$  = tahanan gesek ultimit

2. Kapasitas Dukung Ultimit Kelompok Tiang

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \dots\dots\dots [5]$$

$E_g$  = efisiensi kelompok tiang

$n$  = jumlah tiang

$Q_a$  = beban maksimum tiang tunggal

$W$  = berat abutment

3. Beban Aksial Tiang

$$Q_v = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{y^2} \dots\dots\dots [6]$$

dimana,

$Q_v$  = beban vertikal pada per tiang

$n$  = jumlah tiang

$x, y$  = jarak tiang terhadap sumbu- $y$  dan  $x$

$V$  = beban vertikal pada kelompok tiang

$e_x, e_y$  = eksentrisitas searah sumbu- $x$  dan  $y$

$M_x, M_y$  = momen terhadap sumbu  $x$  dan  $y$

4. Tahanan Beban Lateral

$$SF = \frac{H_u}{H} \geq 1,5 \dots\dots\dots [7]$$

dimana,

$H_u$  = beban lateral ultimit tiang (kN)

$H$  = beban lateral per tiang (kN)

## METODOLOGI

Tahapan penelitian:

1. Studi kasus, meninjau lokasi tanggul yang longsor.
2. Pengumpulan data, data yang digunakan berupa data sekunder.
3. Menganalisis tanggul keadaan awal.
4. Menganalisis tanggul setelah perbaikan tanpa cerucuk kayu.
5. Menganalisis tanggul setelah perbaikan yang diberi perkuatan cerucuk kayu dengan variasi konfigurasi kelompok tiang.
6. Menganalisis hasil perhitungan untuk mendapat konfigurasi tiang cerucuk yang optimum.

Data sekunder didapat dari instansi terkait yaitu Laboratorium UNS.

Tabel 1. Data tanah hasil pengujian laboratorium pada BH 2.

| Parameter Tanah | Satuan               | BH - 2        |               |
|-----------------|----------------------|---------------|---------------|
|                 |                      | 4,00 – 4,50 m | 7,50 – 8,00 m |
| W               | %                    | 56,40         | 44,78         |
| $\gamma_b$      | gram/cm <sup>3</sup> | 1,797         | 1,764         |
| Gs              | -                    | 2,68          | 2,63          |
| Gravel          | %                    | 0,28          | 0,00          |
| Sand            | %                    | 9,60          | 9,00          |
| Silt+clay       | %                    | 90,12         | 91,00         |
| LL              | %                    | 83,76         | 80,83         |
| PL              | %                    | 25,40         | 33,80         |
| IP              | %                    | 58,36         | 47,03         |

Lanjutan Tabel 1.

| Parameter Tanah   | Satuan             | BH - 2   |  |
|-------------------|--------------------|--|--|
|                   |                    | 4,00 – 4,50 m                                    | 7,50 – 8,00 m                                  |
| Klasifikasi tanah |                    | CH (Lempung Anorganik dengan Plastisitas Tinggi) | OH (Lempung Organik dengan Plastisitas Tinggi) |
| c (Direct Shear)  | kg/cm <sup>2</sup> | 0,147  | 0,399  |
| φ (Direct Shear)  | ...°               | 6,83   | 23,4   |

Sumber : Laboratorium UNS

Variasi yang digunakan ditabelkan dalam tabel berikut:

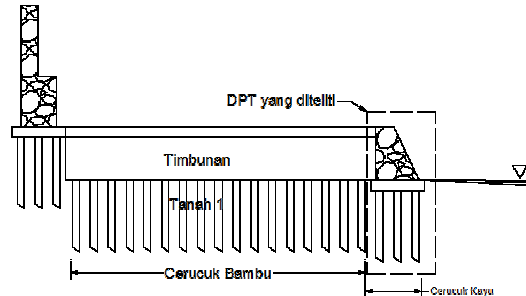
Tabel 2. Variasi muka air tanah (MAT).

| No | Kode | Kedalaman Muka Air Tanah (MAT) |
|----|------|--------------------------------|
| 1  | A    | $z = H + 1,1 L$                |
| 2  | B    | $z = H + L$                    |
| 3  | C    | $z = H + B$                    |
| 4  | D    | $z = H + \frac{1}{2} B$        |
| 5  | E    | $z = H$                        |
| 6  | F    | $z = \frac{3}{4} H$            |
| 7  | G    | $z = \frac{1}{2} H$            |
| 8  | H    | $z = \frac{2}{3} H$            |
| 9  | I    | $z = \frac{1}{4} H$            |
| 10 | J    | $z = 0$                        |

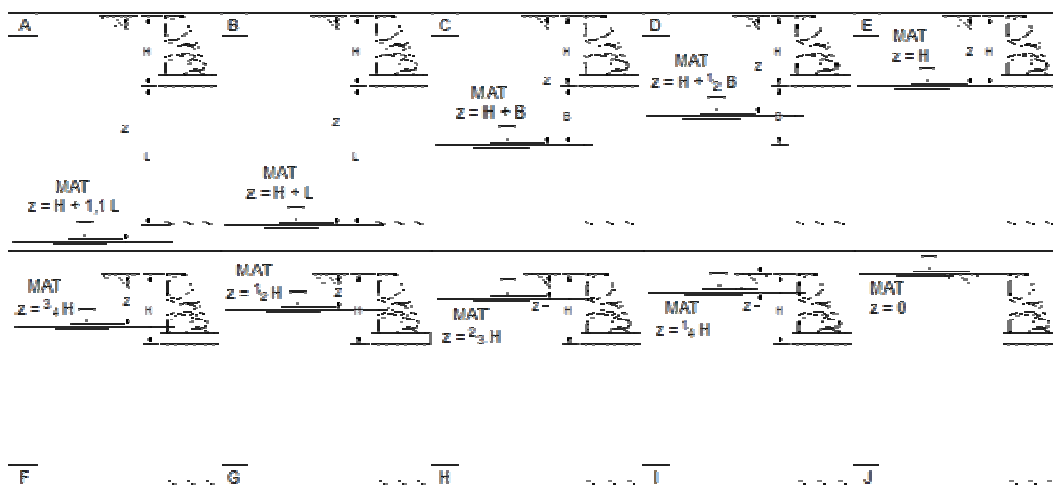
Tabel 3. Variasi panjang tiang dan jarak antar tiang.

| No | Kode      | Panjang (L) (m) | Jarak antar tiang (s) (d) (m) |
|----|-----------|-----------------|-------------------------------|
| 1  | 6L 2,5d   | 6               | 2,5                           |
| 2  | 6L 3d     | 6               | 3                             |
| 3  | 6L 4d     | 6               | 4                             |
| 4  | 6,5L 2,5d | 6,5             | 2,5                           |
| 5  | 6,5L 3d   | 6,5             | 3                             |
| 6  | 6,5L 4d   | 6,5             | 4                             |
| 7  | 7L 2,5d   | 7               | 2,5                           |
| 8  | 7L 3d     | 7               | 3                             |
| 9  | 7L 4d     | 7               | 4                             |
| 10 | 8L 2,5d   | 8               | 2,5                           |
| 11 | 8L 3d     | 8               | 3                             |
| 12 | 8L 4d     | 8               | 4                             |

Sketsa penampang lereng Gajah Putih yang dianalisis ditunjukkan pada Gambar 1, variasi muka air tanah ditunjukkan pada Gambar 2, serta variasi jarak antar tiang dan panjang tiang cerucuk ditunjukkan pada Gambar 3.

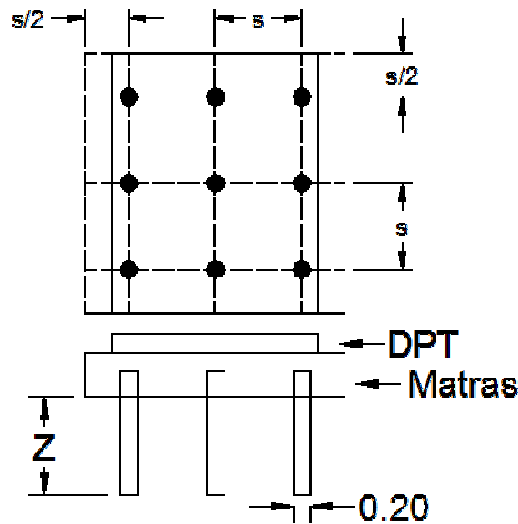


Gambar 1. Pot C-C' setelah perbaikan



Gambar 2. Variasi muka air tanah (MAT)

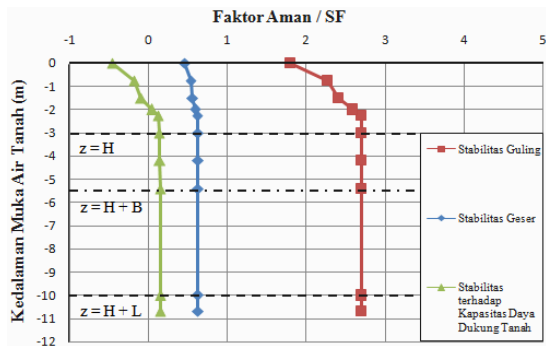
Variasi ini meliputi panjang tiang cerucuk kayu dan jarak antar tiang cerucuk kayu dalam meningkatkan kapasitas dukung tanah dengan jumlah tiang yang digunakan sama yakni 9 tiang



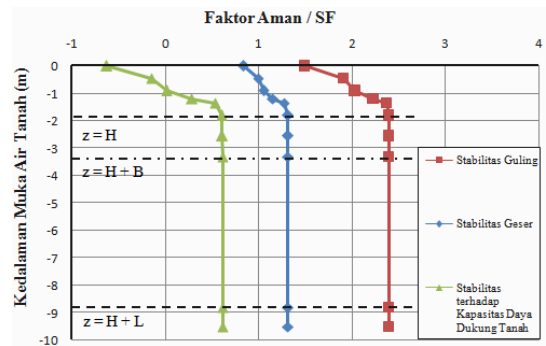
Gambar 3. Formasi tiang cerucuk dalam kelompok tiang.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil analisis dinding penahan tanah dengan variasi muka air tanah ditampilkan dalam gambar grafik.



Gambar 2. Grafik hubungan kedalaman MAT dengan faktor aman (SF) sebelum perbaikan dibebani beban mati dan hidup.



Gambar 3. Grafik hubungan kedalaman MAT dengan faktor aman (SF) setelah perbaikan tanpa cerucuk kayu dibebani beban mati dan hidup.

1. Pengaruh variasi kedalaman MAT terhadap faktor aman stabilitas DPT.
  - a. Stabilitas Geser
 

Perubahan pada stabilitas geser terlihat mulai dari MAT pada posisi di dasar pondasi ( $z = H$ ) sampai posisi MAT di permukaan ( $z = 0$ ). Hal ini dikarenakan air berpengaruh pada tekanan yang menyebabkan penggeseran, semakin tinggi posisi MAT semakin besar tekanan yang menyebabkan penggeseran, maka semakin turun faktor aman stabilitas gesernya.
  - b. Stabilitas Guling
 

Sama halnya seperti pada stabilitas geser, meningkatnya posisi muka air dari kedalaman ( $z = H$ ) sampai posisi MAT di permukaan ( $z = 0$ ) berpengaruh pada tekanan yang menyebabkan momen penggulingan bertambah, sehingga menyebabkan faktor aman stabilitas guling menurun.
  - c. Stabilitas terhadap Keruntuhan Daya Dukung Tanah
 

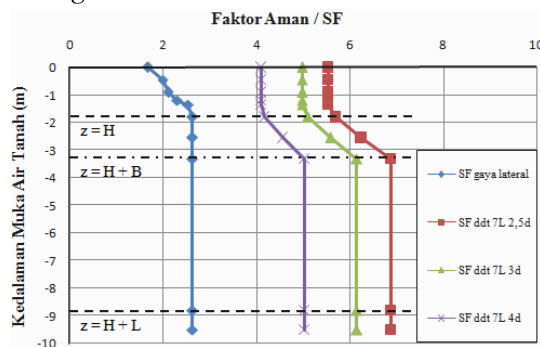
Perubahan MAT mulai dari kedalaman ( $z = H + B$ ) sampai posisi di permukaan ( $z = 0$ ) memberikan pengaruh terhadap stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah, yakni semakin naik posisi MAT semakin turun nilai faktor aman stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah. Ini dikarenakan berat volume tanah ( $\gamma$ ) sangat dipengaruhi oleh kadar air dan kedudukan air tanah.

2. Pengaruh perbaikan tanpa cerucuk kayu terhadap stabilitas DPT.

Perbaikan dinding penahan tanah tanpa cerucuk kayu yang didalamnya termasuk perubahan dimensi dinding penahan tanah dan penggantian tanah urug memberikan pengaruh perubahan kenaikan nilai faktor aman (SF). Dari hasil yang didapat pada analisis dinding penahan tanah (DPT) dapat ditarik kesimpulan bahwa DPT sebelum maupun setelah perbaikan tidak kuat dalam mendukung stabilitas geser dan stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah, sedangkan untuk stabilitas gulingnya bisa dikatakan memenuhi kecuali untuk kondisi ekstrim seperti variasi MAT di kedalaman  $\frac{3}{4}$  H DPT atau 1 H DPT, karena muka air tertinggi di lapangan hanya sampai kedalaman  $\frac{2}{3}$  H DPT. Maka diperlukan cerucuk kayu untuk meningkatkan stabilitas geser dan stabilitas daya dukungnya, cerucuk kayu dianalisis dalam kelompok tiang dengan variasi panjang tiang (L) dan jarak antar tiang (s).

Hasil analisis tiang cerucuk ditampilkan dalam gambar grafik.

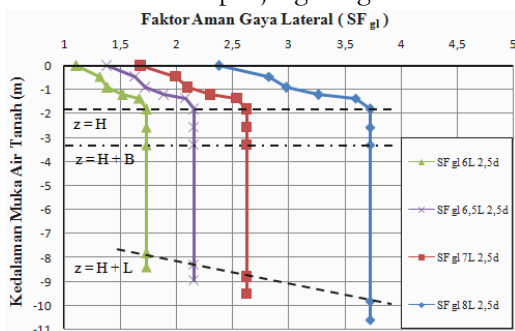
1. Hasil analisis variasi jarak antar tiang.



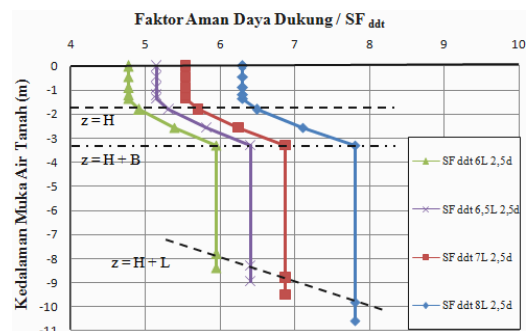
Gambar 4. Grafik hubungan kedalaman MAT dengan faktor aman (SF) kelompok tiang pada variasi jarak antar tiang (s).

Jika diperhatikan pada tabel rekapitulasi analisis tiang cerucuk kayu, penambahan jarak antar tiang (s) dalam kelompok tiang hanya berdampak pada faktor aman daya dukung sedangkan untuk faktor aman gaya lateral tidak berubah. Ini dikarenakan pada analisis daya dukung terdapat efisiensi tiang kelompok dimana dalam tanah kohesif semakin dekat jarak tiang maka semakin menurun faktor amannya. Sedangkan hasil yang didapat menunjukkan semakin dekat jarak antar tiang, maka semakin besar faktor aman daya dukungnya. Ini dimungkinkan karena struktur yang ditopang merupakan struktur menerus sehingga jika jarak tiang diperbesar tidak hanya menambah kapasitas dukung tiang kelompok tapi juga menambah bidang beban yang harus ditopang oleh tiang kelompok. Dalam hal ini terjadinya penambahan beban yang harus ditopang lebih besar dari penambahan kapasitas dukung kelompok tiang.

2. Hasil analisis variasi panjang tiang



Gambar 5. Grafik hubungan kedalaman MAT dengan faktor aman gaya lateral (SF<sub>gl</sub>) kelompok tiang pada variasi panjang tiang (L).



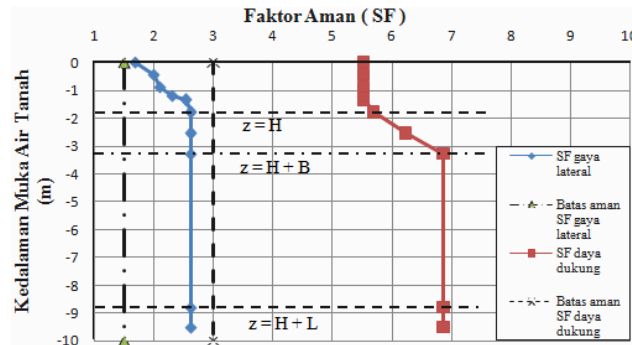
Gambar 6. Grafik hubungan kedalaman MAT dengan faktor aman daya dukung (SF<sub>ddt</sub>) kelompok tiang pada variasi panjang tiang (L).

Berbeda dengan pengaruh jarak antar tiang, penambahan panjang tiang cerucuk mempengaruhi faktor aman daya dukung dan faktor aman gaya lateral. Semakin panjang tiang yang dipakai semakin besar faktor amannya, namun kenaikan ini harus dipertimbangkan lagi dari beberapa segi lainnya, misalnya pada tanah granuler tegangan

vertikal di dekat tiang lebih kecil dari tekanan overburden, jadi tidak mesti bertambah tahanan gesek dinding dan tahanan ujung tiang bila kedalaman tiang bertambah.

### 3. Hubungan variasi MAT dengan faktor aman tiang cerucuk kayu

Penting untuk mengetahui pengaruh posisi muka air tanah terhadap stabilitas tiang cerucuk kayu, termasuk sebab dan seberapa besar pengaruhnya. Hubungan variasi MAT dengan faktor aman tiang cerucuk kayu ditampilkan dalam grafik.



Gambar 7. Grafik hubungan kedalaman MAT dengan faktor aman (SF) kelompok tiang konfigurasi 7L 2,5d setelah perbaikan dibebani beban mati dan hidup.

#### a. SF daya dukung

SF daya dukung mulai turun setelah posisi muka air tepat di ujung tiang ( $z = H + L$ ) sampai muka air di dasar DPT atau ( $z = H$ ). Hal ini dikarenakan dalam persamaan kapasitas dukung yang terdapat pada tahanan ujung maupun tahanan gesek menggunakan berat volume tanah dibawah DPT. Jika daerah ini terendam atau sebagian terendam maka  $\gamma$  yang dipakai akan berubah menjadi  $\gamma'$  sesuai posisi MAT. Semakin banyak daerah yang terendam semakin turun faktor aman daya dukung.

#### b. SF gaya lateral

SF gaya lateral naik setelah posisi muka air tepat di dasar DPT atau ( $z = H$ ) sampai muka air di permukaan ( $z = 0$ ), ini dikarenakan tekanan air memberikan kontribusi terhadap DPT. Semakin tinggi posisi air maka semakin tinggi pula tekanannya, sehingga semakin turun faktor aman pada tahanan gaya lateralnya.

## SIMPULAN

1. Perbaikan dinding penahan tanah yang didalamnya termasuk perubahan dimensi dinding penahan tanah dan penggantian tanah urug memberikan pengaruh perubahan kenaikan nilai faktor aman (SF) sebesar 210% pada stabilitas geser, 87% pada stabilitas guling dan 433% pada stabilitas daya dukung dinding penahan tanah.
2. Pemasangan cerucuk kayu dengan konfigurasi 7L 2,5d meningkatkan faktor aman (SF) pada stabilitas gaya lateral rata-rata sebesar 200% dan pada stabilitas daya dukung rata-rata sebesar 1116%.
3. Pengaruh perubahan berupa penambahan panjang tiang ( $L$ ) dari 6L menjadi 6,5L, 6,5L menjadi 7L, 7L menjadi 8L berturut turut memberikan hasil kenaikan faktor aman terhadap stabilitas gaya lateral sebesar 24,5%, 22% dan 41,8% sedangkan kenaikan faktor aman (SF) terhadap stabilitas daya dukung sebesar 7,5%, 7% dan 13%. Pengaruh penambahan jarak antar tiang ( $s$ ) pada kelompok tiang tidak berpengaruh pada stabilitas gaya lateral, namun penambahan jarak antar tiang dari 2,5d menjadi 3d dan dari 3d menjadi 4d berturut turut memberikan hasil penurunan faktor aman (SF) pada stabilitas daya dukung sebesar 10% dan 18%.
4. Dari hasil analisis maka didapat konfigurasi tiang kelompok cerucuk kayu yang optimum, yaitu 7L 2,5d. Artinya panjang tiang yang digunakan adalah 7m, dengan jarak antar tiang pada kelompok tiang yaitu 2,5d.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr.Niken Silmi Surjandari, ST., MT dan Dr.Techn.Ir. Sholihin As'ad, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

**REFERENSI**

- Affandi, D. (2009). *Pengkajian Kapasitas Daya Dukung Yanah Gambut Di Daerah Pengembangan Irigasi Di Kalimantan Tengah*. Puslitbang SDA DPU Bandung.
- Cahyo A., H.T. (2006). *Hand Out Rekayasa Pondasi 2 Pondasi Tiang Pancang*. Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- Terzaghi, K. (1967), "*Soil Mechanics in Engineering Practice, Second Edition*", Wiley. New York.