

Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan Data *Standard Penetration Test (SPT)* Dan *Cone Penetration Test (CPT)* (Studi Kasus : *East Cross Taxiway Bandara Internasional Soekarno – Hatta*)

Enden Mina¹, Rama Indera Kusuma², Ero Prahara Mahardika³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Kota Cilegon – Banten Indonesia

eromahardika@gmail.com

ABSTRAK

East Cross Taxiway Bandara Internasional Soekarno – Hatta terbagi atas 2 bagian yakni struktur bawah dan struktur atas. Dimana kestabilan suatu struktur tidak hanya ditentukan oleh struktur atas yang secara langsung memikul beban pesawat dan beban perkerasan, tetapi kestabilan struktur bawah dalam hal ini pondasi memegang peranan yang sangat penting dalam menjaga kestabilan struktur tersebut. Peran pondasi adalah untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas tanah ke tanah keras pada kedalaman tertentu sehingga pondasi mampu memberikan dukungan kepada beban tersebut oleh gesekan sisi tiang dengan tanah di sekitarnya.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui daya dukung pondasi tiang secara perhitungan manual dengan metode Meyerhof menggunakan data *Standard Penetration Test (SPT)* dan data *Cone Penetration Test (CPT)*. Sedangkan untuk mengetahui penurunan pondasi tiang secara perhitungan manual dengan metode Vesic. Penelitian ini juga menganalisis menggunakan *software* GEO5 2018 menggunakan data *Cone Penetration Test (CPT)*.

Hasil analisis daya dukung pondasi tiang secara perhitungan manual menggunakan data *Standard Penetration Test (SPT)* didapat nilai daya dukung rata-rata (Q_{ult}) = 1310,38 kN dengan rata-rata *safety factor (SF)* = 2,6 dan menggunakan data *Cone Penetration Test (CPT)* didapat nilai daya dukung rata-rata (Q_{ult}) = 2009,60 kN dengan rata-rata *safety factor (SF)* = 4,0. Sedangkan hasil analisis penurunan pondasi tiang secara perhitungan manual menggunakan data *Standard Penetration Test (SPT)* didapat nilai penurunan rata-rata (S) = 11,73 mm dan menggunakan data *Cone Penetration Test (CPT)* didapat nilai penurunan rata-rata (S) = 13,27 mm. Hasil analisis menurut *software* GEO5 2018 untuk daya dukung pondasi tiang didapat nilai daya dukung rata-rata (Q_{ult}) = 1710,41 kN dengan rata-rata *safety factor (SF)* = 3,5 dan penurunan rata-rata (S) = 4,8 mm. Selisih perbedaan analisis manual dan analisis menggunakan *software* secara keseluruhan sebesar 14 %.

Kata kunci : *Standard Penetration Test, Cone Penetration Test, Daya Dukung, Penurunan*

ABSTRACT

East Cross Taxiway at Soekarno – Hatta International Airport is divided into two parts, namely the lower structure and the upper structure. The stability of a structure is not only determined by the upper structure which directly bears the aircraft load and pavement load, but the stability of the lower structure plays an equally important role in maintaining the stability of the structure, in this case the foundation. The function of the foundation is to continue the load of the building upper the soil into the hard soil at a certain depth so that the foundation is able to support loading by skin friction.

The purpose of this study is to determine the bearing capacity of pile foundation by manual calculation using the Meyerhof method with the Standard Penetration Test (SPT) and Cone Penetration Test (CPT) data. Whereas to find out the settlement of pile foundation by manual calculation using Vesic method. This study also analysed using the GEO5 2018 software with the Cone Penetration Test (CPT) data.

The results of the analysis of pile foundation bearing capacity by manual calculation using the Standard Penetration Test (SPT) data obtained the average bearing capacity (Q_{ult}) = 1310.38 kN with an average safety factor (SF) = 2.6 and using Cone Penetration Test (CPT) data obtained the average bearing capacity (Q_{ult}) = 2009.60 kN with an average safety factor (SF) = 4.0. While the results of the analysis of pile foundation settlement in manual calculation using the Standard Penetration Test (SPT) data obtained an average settlement (S) = 11.73 and using the Cone Penetration Test (CPT) data obtained an average settlement (S) = 13.27 mm. The results of the analysis according to the GEO5 2018 software for pile foundation bearing capacity obtained the average bearing capacity (Q_{ult}) 1710.41 kN with an average safety factor (SF) = 3.5 and an average settlement (S) = 4.8 mm. Comparison of manual analysis and analysis using software overall 14%.

Keywords : Standard Penetration Test, Cone Penetration Test, Bearing Capacity, Settlement

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jumlah penumpang pesawat di seluruh Indonesia, khususnya penumpang di Bandara Internasional Soekarno – Hatta telah meningkat dengan pesat. Kapasitas Bandara Internasional Soekarno – Hatta tidak cukup untuk melayani jumlah penumpang yang semakin banyak.

Dalam rangka memecahkan masalah kekurangan kapasitas ini, PT Angkasa Pura II menambah kapasitas Bandara Internasional Soekarno – Hatta dengan memperluas *taxiway*, untuk meningkatkan kapasitas penerbangan, khususnya pada *taxiway* timur.

East Cross Taxiway Bandara Internasional Soekarno – Hatta terbagi atas 2 bagian yakni struktur bawah dan struktur atas. Dimana kestabilan suatu struktur tidak hanya ditentukan oleh struktur atas yang secara langsung memikul gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut, tetapi kestabilan struktur bawah dalam hal ini pondasi memegang peranan penting dalam menjaga kestabilan struktur dan meneruskan gaya-gaya yang bekerja ke tanah keras pada kedalaman tertentu.

B. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di *East Cross Taxiway* Bandara Internasional Soekarno –Hatta, Tangerang, Banten – Indonesia.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Sumber : Google maps, 2018

C. Tinjauan Pustaka

Beby Hardianty dan Rudi Iskandar (2015) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Daya Dukung dan Penurunan Tiang Pancang Pada *Bore Hole II* dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Proyek *Skyview Apartment Medan*)” dengan tujuan penelitian adalah untuk mengetahui nilai daya dukung ultimit tiang pancang dan penurunan secara analitis dan metode elemen hingga. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Perhitungan analitis nilai daya dukung ultimit dan daya dukung ijin tiang pancang dari data sondir $Q_{ult} = 416,36$ ton dan $Q_{ijin} = 110,40$ ton.
2. Hasil perhitungan analitis nilai daya dukung ultimit dan daya dukung ijin tiang pancang dari data SPT $Q_{ult} = 275,20$ ton dan $Q_{ijin} = 110,08$ ton.
3. Hasil penurunan tiang pancang kelompok dengan metode Meyerhof sebesar $S_b = 15,90$ mm.

Indra Pardamean Parinduri dan Rudi Iskandar (2015) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Daya Dukung Pondasi dan Penurunan Tiang Pancang Pada Proyek Pengembangan Gedung Pendidikan dan Prasarana Serta Sarana Pendukung Politeknik Negeri Medan” dengan tujuan penelitian adalah untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang dari hasil uji sondir, SPT dan berdasarkan dari bacaan Jack Manometer. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Hasil perhitungan daya dukung ultimit tiang pada kedalaman 8 m berdasarkan data sondir, SPT dan data bacaan Jack Manometer pada saat pemancangan adalah daya dukung dengan metode Aoki dan De Alenciar ($Q_{ult} = 201,56$ ton), daya dukung dengan metode Meyerhof ($Q_{ult} = 408,64$ ton), daya dukung dengan data SPT metode Meyerhof ($Q_{ult} = 201,09$ ton dan daya

dukung data bacaan Jack Manometer rata-rata (Q_{ult}) = 209,50 ton.

2. Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal, penurunan kelompok tiang dan penurunan ijin sebagai berikut :
 - a. Penurunan tiang tunggal (S) = 22,5 mm.
 - b. Penurunan kelompok tiang dengan metode Meyerhof (S) = 50,49 mm.
 - c. Penurunan kelompok tiang metode Vesic (S) = 50,3 mm.
 - d. Penurunan yang diijinkan (S_{ijin}) = 50 mm.

2. LANDASAN TEORI

A. Taxiway

Taxiway adalah suatu jalur khusus di dalam lokasi bandara yang menghubungkan antara landasan pacu (*runway*) dengan landasan paker (*apron*) di daerah bangunan terminal dan sebaliknya.

B. Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) adalah salah satu jenis uji yang sering digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah selain CPT. SPT dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh.

C. Cone Penetration Test (CPT)

Alat kerucut penetrometer (*Cone Penetration Test*) adalah sebuah alat yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60° dan dengan luasan ujung 10 cm. Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap 20 mm/detik, sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi (q_c) juga terus menerus diukur. Salah satu keuntungan utama dari alat ini ialah bahwa tidak perlu diadakan pemboran tanah untuk

penyelidikan tanah. Tes pada umumnya dilakukan pada tanah kohesif.

D. Daya Dukung

Pondasi adalah struktur bawah yang umumnya terletak dibawah permukaan tanah yang berfungsi untuk memikul beban yang diterima dari suatu struktur bangunan di atasnya lalu meneruskan gaya yang diterima dan disalurkan ke lapisan tanah pendukung. Pondasi harus diperhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban mati dan beban hidup. Disamping itu, penurunan yang akan terjadi akibat beban yang bekerja harus sesuai dengan penurunan yang diijinkan. Posisi pondasi harus berada pada tanah yang cukup keras, padat dan kuat agar pondasi mampu bekerja sebagaimana mestinya.

1) Daya Dukung Berdasarkan Data *Standard Penetration Test* (SPT) Metode Meyerhof

Tahanan ujung pondasi tiang :

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p$$

Tahanan geser selimut tiang :

$$Q_s = \alpha \times c_u \times p \times L_i$$

Keterangan :

$$c_u = \text{kohesi undrained (kN/m}^2\text{)} \\ = N\text{-SPT} \times \frac{2}{3} \times 10$$

α = koefisien adhesi antara tanah dan tiang

A_p = luas penampang tiang (m^2)

P = keliling tiang (m)

L_i = tebal lapisan tanah (m)

2) Daya Dukung Berdasarkan Data *Cone Penetration Test* (CPT) Metode Meyerhof

Tahanan ujung pondasi tiang :

$$Q_p = q_c \times A_p$$

Tahanan geser selimut tiang :

$$Q_s = JHP \times K$$

Keterangan :

- qc = tahanan konus pada ujung tiang (kg/cm²)
- Ap = luas penampang tiang (cm²)
- JHP = jumlah hambatan pelekat (kg/cm)
- K = keliling tiang (cm)

E. Penurunan

Penurunan pondasi adalah terjadinya penurunan struktur pondasi akibat menerima beban struktur di atasnya. Pondasi yang baik apabila berada pada tanah yang cukup keras, padat dan kuat. Tanah yang kuat mampu membantu pondasi menahan beban sehingga memperkecil penurunan yang akan terjadi.

1. Penurunan elastis Metode Vesic

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Keterangan :

- S = penurunan total (m)
- S₁ = penurunan elastis tiang (m)
- S₂ = penurunan pada ujung tiang akibat pembebanan (m)
- S₃ = penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang tiang (m)

Penurunan elastis tiang (S₁)

$$S_1 = \frac{(Qp + \xi Qs)L}{ApEp}$$

Keterangan :

- Qp = daya dukung ujung tiang (kN)
- Qs = daya dukung tahanan kulit (kN)
- ξ = koefisien dari *skin friction*
- Ap = luas penampang tiang (m²)
- Ep = modulus elastisitas tiang (MPa)
- L = panjang tiang (m)

Penurunan pada ujung tiang akibat pembebanan (S₂)

$$S_2 = \frac{QpCp}{Dqp}$$

Keterangan :

- qp = tekanan ujung batas tiang (kN/m²)
- D = diameter tiang (m)
- Cp = koefisien empiris = 0,03

Penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang tiang (S₃) :

$$S_3 = \frac{Qs Cs}{L qp}$$

Keterangan :

- Cs = sebuah konstanta = (0,93 + 0,16 $\sqrt{\frac{L}{D}}$ Cp)
- L = panjang tiang (m)
- Qs = daya dukung tahanan kulit (kN)
- qp = tekanan ujung batas tiang (kN/m²)

2. Penurunan yang diijinkan

$$S_{ijin} = 10\% \cdot D$$

Keterangan :

- D = diameter tiang (m)

F. GEO5

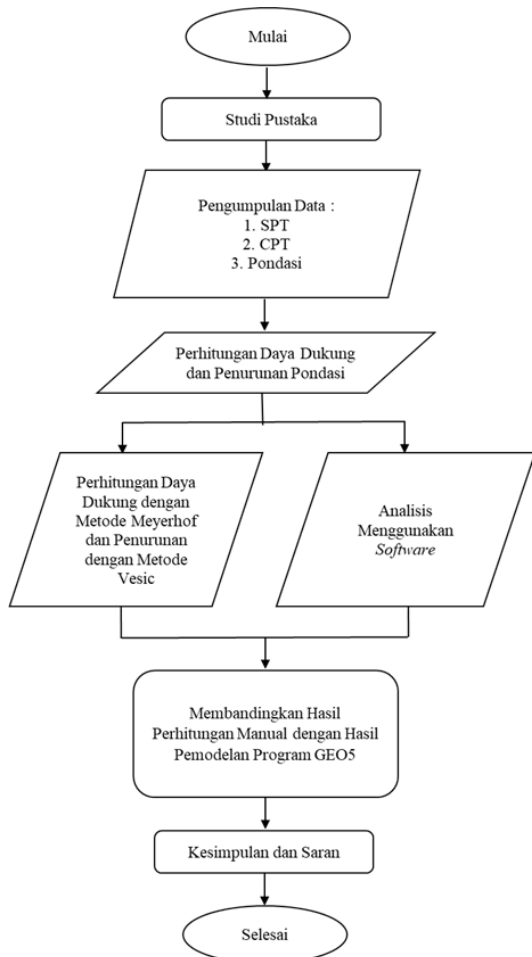
Penulis juga menggunakan *software* GEO5 2018 – CPT PILE untuk menganalisis penelitian ini. GEO5 2018 – CPT PILE memiliki kemampuan untuk menganalisis daya dukung pondasi (*bearing capacity*), penurunan (*ettlement*) dan faktor keamanan (*safety factor*) secara bersamaan. GEO5 merupakan *software* elemen hingga ketekniksipilan pada bidang geoteknik dan dikembangkan oleh perusahaan Fine Software. Pada analisis ini akan menjelaskan langkah demi langkah. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis sebagai berikut :

1. Input data

- a) Data CPT
- b) Beban
- c) Data struktur

2. Metode yang digunakan : *safety factor*
3. Output *software* yaitu daya dukung (Q_{ult}), faktor keamanan (SF) dan penurunan (S).

3. METODOLOGI PENELITIAN



Bagan 1. Alur penelitian Skripsi dalam bentuk bagan *Sumber : Analisis penulis, 2018*

Penelitian ini dilakukan pada pembangunan *East Cross Taxiway* Bandara Internasional Soekarno – Hatta, Tangerang, Banten – Indonesia. Pada penelitian ini menggunakan parameter tanah yang didapat dari hasil uji *Standard Penetration Test (SPT)* dan *Cone Penetration Test (CPT)*. Data structural seperti beban mati, berat pesawat dan data pondasi. Tinjauan penelitian ini yaitu daya dukung dan penurunan pondasi tiang. Pada

analisis daya dukung menggunakan metode Meyerhof dan analisis penurunan menggunakan metode Vesic. Serta factor keamanan dan penurunan yang diijinkan. Tahapan penelitian ini :

- A. Studi pustaka
 - Menghimpun informasi yang relevan dengan topic dan masalah yang menjadi objek penelitian.
- B. Identifikasi masalah
 - Menentukan rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini.
- C. Pengumpulan data
 - Mencari data yang akan digunakan pada penelitian
- D. Menganalisis data
 - 1) Perhitungan daya dukung pondasi tiang berdasarkan data *Standard Penetration Test (SPT)* dan *Cone Penetration Test (CPT)* menggunakan metode Meyerhof dan perhitungan faktor keamanan
 - 2) Perhitungan penurunan pondasi tiang berdasarkan data *Standard Penetration Test (SPT)* dan *Cone Penetration Test (CPT)* menggunakan metode Vesic dan perhitungan penurunan yang diijinkan.
 - 3) Analisis menggunakan *software GEO5 2018* berdasarkan data *Cone Penetration Test (CPT)* menggunakan metode *safety factor*.
- E. Kesimpulan dan saran
 - 1) Hasil analisis menggunakan metode manual.
 - 2) Hasil analisis menggunakan *software*.
 - 3) Membandingkan selisih perbedaan antara perhitungan metode manual dan *software*.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Beban yang bekerja pada *East Cross Taxiway* Bandara Internasional Soekarno – Hatta :

Beban mati = 467,21 kN
 Beban hidup = 29,99 kN
 Total beban = 497,2 kN

A. Daya Dukung

1) *Standard Penetration Test (SPT)*

Daya dukung ujung pondasi (Q_p)
 $Q_{p1} = 9 \times c_u \times A_p$
 $= 9 \times 70 \text{ kN/m} \times 0,0804 \text{ m}^2$
 $= 50,64 \text{ kN}$ (depth 1 m)
 $Q_{p2} = (9 \times c_u \times A_p) + Q_{p1}$
 $= (9 \times 140 \text{ kN/m} \times 0,0804 \text{ m}^2) + 50,64 \text{ kN}$
 $= 101,30 \text{ kN} + 50,64 \text{ kN}$
 $= 151,93 \text{ kN}$ (depth 2 m)
 $Q_{p3} = (9 \times c_u \times A_p) + Q_{p2}$
 $= (9 \times 153 \text{ kN/m} \times 0,0804 \text{ m}^2) + 151,93 \text{ kN}$
 $= 110,71 \text{ kN} + 151,93 \text{ kN}$
 $= 262,86 \text{ kN}$ (depth 3 m)
 $Q_{p4} = (9 \times c_u \times A_p) + Q_{p3}$
 $= (9 \times 167 \text{ kN/m} \times 0,0804 \text{ m}^2) + 262,86 \text{ kN}$
 $= 120,84 \text{ kN} + 262,86 \text{ kN}$
 $= 383,43 \text{ kN}$ (depth 4 m)
 $Q_{p5} = (9 \times c_u \times A_p) + Q_{p4}$
 $= (9 \times 177 \text{ kN/m} \times 0,0804 \text{ m}^2) + 383,43 \text{ kN}$
 $= 128,08 \text{ kN} + 383,43 \text{ kN}$
 $= 511,24 \text{ kN}$ (depth 5 m)
 $Q_{p\text{total}} = 511,24 \text{ kN}$

Tahanan gesek selimut tiang (Q_s)
 $Q_{s1} = \alpha \times c_u \times P \times L_i$
 $= 1 \times 70 \text{ kN/m} \times 1,0048 \text{ m} \times 1$
 $= 70,34 \text{ kN}$ (depth 1 m)
 $Q_{s2} = (\alpha \times c_u \times P \times L_i) + Q_{s1}$
 $= (1 \times 140 \text{ kN/m} \times 1,0048 \text{ m} \times 1) + 70,34 \text{ kN}$
 $= 140,67 \text{ kN} + 70,34 \text{ kN}$
 $= 211,01 \text{ kN}$ (depth 2 m)
 $Q_{s3} = (\alpha \times c_u \times P \times L_i) + Q_{s2}$
 $= (1 \times 153 \text{ kN/m} \times 1,0048 \text{ m} \times 1) + 211,01 \text{ kN}$
 $= 153,73 \text{ kN} + 211,01 \text{ kN}$
 $= 365,08 \text{ kN}$ (depth 3 m)
 $Q_{s4} = (\alpha \times c_u \times P \times L_i) + Q_{s3}$
 $= (1 \times 167 \text{ kN/m} \times 1,0048 \text{ m} \times 1) + 365,08 \text{ kN}$
 $= 167,80 \text{ kN} + 365,08 \text{ kN}$
 $= 532,54 \text{ kN}$ (depth 4 m)

$Q_{s5} = (\alpha \times c_u \times P \times L_i) + Q_{s4}$
 $= (1 \times 177 \text{ kN/m} \times 1,0048 \text{ m} \times 1) + 532,54 \text{ kN}$
 $= 177,85 \text{ kN} + 532,54 \text{ kN}$
 $= 710,06 \text{ kN}$ (depth 5 m)
 $Q_{s\text{Total}} = 710,06 \text{ kN}$

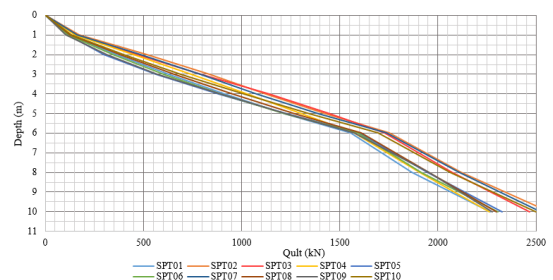
Daya dukung ultimit (Q_{ult})
 $Q_{ult} = Q_p + Q_s$
 $= 511,24 \text{ kN} + 710,06 \text{ kN}$
 $= 1221,3 \text{ kN}$

Safety factor (SF)
 $SF = \frac{\text{daya dukung ultimit}}{\text{beban pada bahu taxiway}}$
 $= \frac{1221,3 \text{ kN}}{497,2 \text{ kN}}$
 $= 2,5 > 2,0 \dots\dots\dots (\text{Aman})$

Tabel 1. Rekapitulasi daya dukung berdasarkan data SPT

Lokasi	Q_s (kN)	Q_p (kN)	Q_{ult} (kN)	SF
BH01	710,06	511,24	1221,30	2,5
BH02	830,63	598,06	1428,69	2,9
BH03	844,03	607,70	1451,74	2,9
BH04	760,30	547,42	1307,71	2,6
BH05	743,55	487,13	1230,68	2,5
BH06	710,06	511,24	1221,30	2,5
BH07	810,54	583,59	1394,13	2,8
BH08	740,20	532,95	1273,15	2,6
BH09	713,41	513,65	1227,06	2,5
BH10	783,74	564,30	1348,04	2,7

Sumber : Analisis penulis, 2018



Gambar 1. Grafik daya dukung berdasarkan data SPT

Sumber : Analisis penulis, 2018

2) *Cone Penetration Test (CPT)*

Daya dukung ujung pondasi (Q_p)
 $Q_{p1} = q_c \times A_p$
 $= 13 \text{ kg/cm}^2 \times 803,84 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
 Q_{p2} &= 104,49 \text{ kN} \quad (\text{depth 1 m}) \\
 &= q_c \times A_p \\
 &= 27 \text{ kg/cm}^2 \times 803,84 \text{ cm}^2 \\
 &= 217,04 \text{ kN} \quad (\text{depth 2 m}) \\
 Q_{p3} &= q_c \times A_p \\
 &= 37 \text{ kg/cm}^2 \times 803,84 \text{ cm}^2 \\
 &= 297,42 \text{ kN} \quad (\text{depth 3 m}) \\
 Q_{p4} &= q_c \times A_p \\
 &= 45 \text{ kg/cm}^2 \times 803,84 \text{ cm}^2 \\
 &= 361,73 \text{ kN} \quad (\text{depth 4 m}) \\
 Q_{p5} &= q_c \times A_p \\
 &= 45 \times 803,84 \\
 &= 361,72 \text{ kN} \quad (\text{depth 5 m}) \\
 Q_{p\text{Total}} &= 1342,41 \text{ kN} \\
 \text{Tahanan gesek selimut tiang (Qs)} \\
 Q_{s1} &= JHP \times K \\
 &= 38 \times 100,48 \\
 &= 38,18 \text{ kN} \quad (\text{depth 1 m}) \\
 Q_{s2} &= (JHP \times K) + Q_{s1} \\
 &= (66 \times 100,48) + 38,18 \text{ kN} \\
 &= 66,32 \text{ kN} + 38,18 \text{ kN} \\
 &= 104,49 \text{ kN} \quad (\text{depth 2 m}) \\
 Q_{s3} &= (JHP \times K) + Q_{s2} \\
 &= (102 \times 100,48) + 104,49 \text{ kN} \\
 &= 102,49 \text{ kN} + 104,49 \text{ kN} \\
 &= 206,49 \text{ kN} \quad (\text{depth 3 m}) \\
 Q_{s4} &= (JHP \times K) + Q_{s3} \\
 &= (140 \times 100,48) + 206,49 \text{ kN} \\
 &= 140,67 \text{ kN} + 206,49 \text{ kN} \\
 &= 347,66 \text{ kN} \quad (\text{depth 4 m}) \\
 Q_{s5} &= (JHP \times K) + Q_{s4} \\
 &= (192 \times 100,48) + 347,66 \text{ kN} \\
 &= 192,92 \text{ kN} + 346,66 \text{ kN} \\
 &= 540,58 \text{ kN} \quad (\text{depth 5 m}) \\
 Q_{S\text{Total}} &= 540,58 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Daya dukung pondasi tiang (Q_{ult})

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_p + Q_s \\
 &= 1342,41 \text{ kN} + 540,58 \text{ kN} \\
 &= 1883,00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Safety factor (SF)

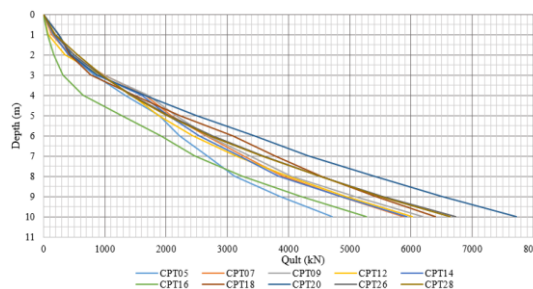
$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\text{Daya dukung ultimit}}{\text{Beban pada taxiway}} \\
 &= \frac{1883,00 \text{ kN}}{497,2 \text{ kN}} \\
 &= 3,8 > 2,0 \dots\dots\dots (\text{Aman})
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Rekapitulasi daya dukung berdasarkan data CPT

Lokasi	Qs (kN)	Qp (kN)	Qult (kN)	SF
CPT05	540,58	1342,41	1883,00	3,8

CPT07	918,39	1165,57	2083,96	4,2
CPT09	1014,85	1149,49	2164,34	4,4
CPT12	930,44	940,49	1870,94	3,8
CPT14	954,56	1085,18	2039,74	4,1
CPT16	647,09	627,00	1274,09	2,6
CPT18	819,92	1398,68	2218,60	4,5
CPT20	1129,40	1366,53	2495,92	5,0
CPT26	1215,81	835,99	2051,80	4,1
CPT28	1177,63	835,99	2013,62	4,0

Sumber : Analisis penulis, 2018



Gambar 2. Grafik daya dukung berdasarkan data CPT

B. Penurunan

1) *Standard Penetration Test (SPT)*

Penurunan total pondasi tiang pada SPT01

Diketahui data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= 1221,30 \text{ kN} \\
 Q_{wp} &= 511,24 \text{ kN} \\
 Q_{ws} &= 710,06 \text{ kN} \\
 A_p &= 0,0804 \text{ m}^2 \\
 E_p &= 21 \times 10^6 \text{ MPa} \\
 \xi &= 0,67 \\
 C_p &= 0,03
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \\
 &= \frac{(511,24 \text{ kN} + 0,67 (710,06 \text{ kN})) 5}{0,0804 \text{ m}^2 (21 \times 10^6)} \\
 &= \frac{4934,91}{1688400} \\
 &= 0,00292 \text{ m} \approx 2,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_2 &= \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \\
 &= \frac{511,24 \text{ kN} \times 0,03}{0,32 \times 6358,73} \\
 &= \frac{15,34}{2034,79} \\
 &= 0,00754 \text{ m} \approx 7,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$q_p = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$= \frac{511,24}{0,0804} = 6358,74 \text{ kN/m}^2$$

$$S_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} = \frac{710,06 \text{ kN} \times 0,047}{\frac{5 \times 6358,73}{33,37}} = 0,00105 \text{ m} \approx 1,05 \text{ mm}$$

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}}) C_p = (0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{5}{0,32}}) 0,03 = (0,93 + 0,632) 0,03 = 0,047$$

Penurunan total (S) :

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 2,92 \text{ mm} + 7,54 \text{ mm} + 1,05 \text{ mm} = 11,51 \text{ mm}$$

Penurunan yang diijinkan (S_{ijin})

$$S_{ijin} = 10 \% \cdot D_{tiang} = 0,1 \times 32 \text{ cm} = 3,2 \text{ cm} \approx 32 \text{ mm}$$

$$S < S_{ijin} \\ 11,51 \text{ mm} < 32 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{Aman})$$

Tabel 3. Rekapitulasi penurunan berdasarkan data SPT

Lokasi	S1	S2	S3	Stotal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
BH01	2,923	7,538	1,050	11,51
BH02	3,419	7,538	1,050	12,01
BH03	3,474	7,538	1,050	12,06
BH04	3,130	7,538	1,050	11,72
BH05	2,918	7,538	1,154	11,61
BH06	2,923	7,538	1,050	11,51
BH07	3,336	7,538	1,050	11,92
BH08	3,047	7,538	1,050	11,63
BH09	2,937	7,538	1,050	11,52
BH10	3,226	7,538	1,050	11,81

Sumber : Analisis penulis, 2018

2) Cone Penetration Test (CPT)
 Penurunan total pondasi tiang pada CPT05

Diketahui data sebagai berikut :
 $Q_{ult} = 1883 \text{ kN}$

$$Q_{wp} = 1342,41 \text{ kN} \\ Q_{ws} = 540,58 \text{ kN} \\ A_p = 0,0804 \text{ m}^2 \\ E_p = 21 \times 10^6 \text{ MPa} \\ \xi = 0,67 \\ C_p = 0,03$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} = \frac{(1342,41 \text{ kN} + 0,67 (540,58 \text{ kN})) 5}{0,0804 (21 \times 10^6)} = \frac{8523,01}{1688400} = 0,00504 \text{ m} \approx 5,04 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} = \frac{1342,41 \text{ kN} \times 0,03}{\frac{0,32 \times 16696,68}{40,27}} = \frac{5342,94}{40,27} = 0,00754 \text{ m} \approx 7,54 \text{ mm}$$

$$q_p = \frac{Q_{wp}}{A_p} = \frac{1342,41}{0,0804} = 16696,68 \text{ kN/m}^2$$

$$S_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} = \frac{540,58 \text{ kN} \times 0,047}{\frac{5 \times 16696,68}{25,407}} = \frac{83483,38}{25,407} = 0,0003 \text{ m} \approx 0,3 \text{ mm}$$

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}}) C_p = (0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{5}{0,32}}) 0,03 = (0,93 + 0,632) 0,03 = 0,047$$

Penurunan total (S) :

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 5,04 \text{ mm} + 7,54 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 12,89 \text{ mm}$$

Penurunan yang diijinkan (S_{ijin})

$$S_{ijin} = 10 \% \cdot D_{tiang} = 0,1 \times 32 \text{ cm} = 3,2 \text{ cm} \approx 32 \text{ mm}$$

$$S < S_{ijin} \\ 12,89 \text{ mm} < 32 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{Aman})$$

Tabel 4. Rekapitulasi penurunan berdasarkan data CPT

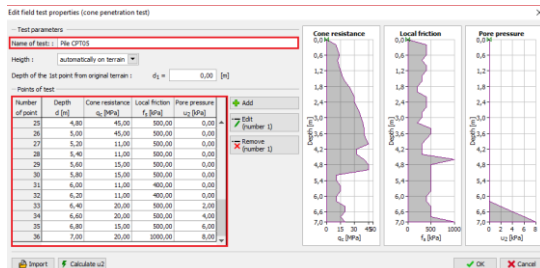
Lokasi	S1	S2	S3	Stotal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
CPT05	5,048	7,538	0,304	12,89
CPT07	5,274	7,538	0,595	13,41
CPT09	5,418	7,538	0,667	13,62
CPT12	4,631	7,538	0,748	12,92
CPT14	5,108	7,538	0,665	13,31
CPT16	3,141	7,538	0,780	11,46
CPT18	5,769	7,538	0,443	13,75
CPT20	6,288	7,538	0,625	14,45
CPT26	4,888	7,538	1,099	13,52
CPT28	4,812	7,538	1,065	13,41

Sumber : Analisis penulis, 2018

C. Analisis Menggunakan GEO5

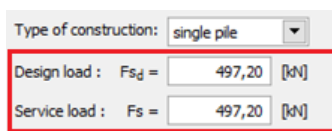
Analisis dengan menggunakan software GEO5 2018 terdapat beberapa langkah. Secara langsung analisis menggunakan GEO5 menghitung daya dukung, penurunan dan faktor keamanan. Pada analisis ini menggunakan metode *safety factor*. Pembahasan akan menggunakan contoh data CPT pada titik CPT05.

1) Input data CPT

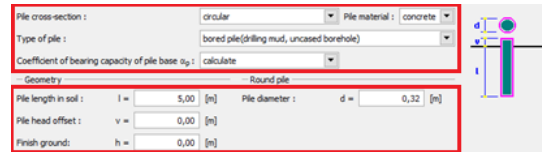


Gambar 3. Tampilan ketika input data CPT
Sumber : Analisis penulis, 2018

2) Analisis



Gambar 4. Input pembebanan
Sumber : Analisis penulis, 2018



Gambar 5. Input data struktur
Sumber : Analisis penulis, 2018

3) Output

Calculation of vertical bearing capacity - results
Analysis carried out for test: Pile CPT05

Pile bearing capacity $F_{r,d} = 1525,15 \text{ kN}$
Pile loading $F_{s,d} = 497,20 \text{ kN}$

Safety factor = 3,07 > 2,00

Verification of pile for bearing capacity is SATISFACTORY

Gambar 6. Hasil analisis daya dukung dan safety factor

Sumber : Analisis penulis, 2018

Pile settlement calculation - results

For loading $F_s = 497,20 \text{ kN}$ the pile settlement is = 4,6 mm

Gambar 7. Hasil analisis penurunan

Sumber : Analisis penulis, 2018

Tabel 5. Rekapitulasi analisis menggunakan software

Lokasi	Beban pada taxiway (kN)	Bearing Capacity (kN)	SF	Settlement (mm)
CPT05	497,20	1525,15	3,1	4,6
CPT07	497,20	1855,90	3,7	3,5
CPT09	497,20	1829,20	3,7	3,6
CPT12	497,20	1740,36	3,5	4,6
CPT14	497,20	1865,50	3,8	3,5
CPT16	497,20	1044,63	2,1	9,3
CPT18	497,20	2041,04	4,1	4,3
CPT20	497,20	1783,28	3,6	4,8
CPT26	497,20	1738,08	3,5	4,7
CPT28	497,20	1680,91	3,4	4,8

Sumber : Analisis penulis, 2018

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah penulis lakukan, berikut adalah hasil penelitian :

- 1) Hasil analisis daya dukung pondasi tiang Metode Meyerhof berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) didapat daya dukung rata-rata

sebesar 1310,38 kN dan *safety factor* rata-rata sebesar 2,6.. Sedangkan hasil analisis berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT) didapat daya dukung rata-rata 2009,60 kN dan *safety factor* rata-rata sebesar 4,0.

- 2) Hasil analisis penurunan pondasi tiang Metode Vesic berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) didapat penurunan rata-rata sebesar 11,73 mm. Sedangkan hasil analisis berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT) didapat penurunan rata-rata sebesar 13,27 mm.
- 3) Hasil analisis daya dukung pondasi tiang menggunakan Software GEO5 didapat daya dukung rata-rata sebesar 1710,41 kN dengan rata-rata SF = 3,5 dan penurunan rata-rata sebesar 4,77 mm.
- 4) Perbandingan analisis manual dan analisis menggunakan *software* secara keseluruhan adalah 14 %.

B. Saran

Penelitian ini jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu penulis memberikan saran sebagai berikut :

- 1) Sebelum melakukan analisis hendaknya kita memperoleh data teknis yang lengkap karena data tersebut sangat menunjang dalam membuat rencana analisis perhitungan, sesuai dengan standard dan syarat-syaratnya.
- 2) Untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat dapat dilakukan dengan menggunakan data hasil pengujian lab.
- 3) Sebaiknya menggunakan program metode elemen hingga lainnya karena program GEO5 hanya mampu menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi

menggunakan data CPT. Program GEO5 tidak mampu menganalisis besarnya nilai penurunan yang terjadi apabila hasil analisis tidak aman.

- 4) Perbedaan hasil analisis manual dan menggunakan *software* GEO5 karena analisis manual menggunakan metode Meyerhof (menentukan daya dukung pada setiap lapisan tanah satuan meter) sedangkan analisis menggunakan *software* GEO5 menggunakan standard EN 1997 (menentukan daya dukung berdasarkan tekanan pada dasar tiang). Standard EN 1997 merupakan metode elemen hingga pada *software* GEO5 untuk menganalisis hasil uji CPT pada tanah lempung atau sesuai dengan data hasil uji CPT yang penulis miliki.
- 5) Penelitian selanjutnya disarankan untuk memilih lokasi studi kasus pada area lain dalam lingkup proyek perluasan area Bandara Internasional Soekarno-Hatta dengan metode lain dan metode elemen hingga lainnya seperti Plaxis, Geoslope/w, AllPile atau SHAFT.

6. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1993. *AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.
- Bowles, Joseph E. 1993. *Analisis dan Desain Pondasi*. Edisi 4 Jilid kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chairullah, Benta. 2013. *Analisa Daya Dukung Pondasi dengan Metoda SPT, CPT dan Meyerhof pada Lokasi Rencana Konstruksi PLTU Nagan Raya Provinsi Aceh*. Aceh: Jurnal Teknik Sipil. Vol. 3, No. 1.

- Civil Engineering Software. *Geotechnical Software Suite Geo.5*. Engineering Manuals Dey, Arindam. 2009. *Geo.5 Software Demonstration*.
- Craig, R.F. 1991. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering, Edisi 7*. Stamford: Cengage Learning.
- Fahriani, Ferra dan Apriyanti, Yayuk. 2015. *Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Pondasi pada Daerah Pesisir Pantai Utara Kabupaten Bangka*. Bangka Belitung: Jurnal Teknik Sipil. Vol. 3, No. 2.
- Hardianty, Beby. 2015. *“Analisis Daya Dukung dan Penurunan Tiang Pancang pada Bore Hole II dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga”*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Hardiyatmo, H.C. 2002, *Mekanika Tanah I, Edisi 3*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H.C. 2003, *Mekanika Tanah II, Edisi 3*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H.C. 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi I, Bagian I, Edisi 2*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H.C. 2002, *Rekayasa Fondasi 2, Edisi 3*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Pardamean, Indra & Iskandar, Rudi. 2015. *“Analisis Daya Dukung Pondasi dan Penurunan Tiang Pancang pada Proyek Pengembangan Gedung Pendidikan dan Prasaranan Serta Sarana Pendukung”*. Politeknik Negeri Medan. Medan.
- Prabandiyani, Sri. 2004. *Buku Ajar Pondasi. Jurusan Teknik Sipil*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Resty, Octaviany. 2015. *“Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor dan Tiang Pancang”*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon
- Rangkuti, Nuril Mahda. 2017. *“Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Proyek Pembangunan Perhotelan/Apartmen/Kondominium Di Jalan Ring Road Medan”*. Medan.
- Rumiris, Lambok. 2018. *“Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Uji Standard Penetration Test (SPT) dan Data Uji Cone Penetration Test”*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon.
- Setyo Budi, Gogot. 2011. *Pondasi Dangkal*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Simalango, Astrya dan Iskandar, Rudi. 2015. *Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga pada Bore Hole II (Studi Kasus: Pembangunan Bendung Bajayu Seipadang Kabupaten Serdang Bedagai Sumatera Utara..* Universitas Sumatera Utara. Medan: Jurnal Teknik Sipil.
- Sinaga, Christian Albert. 2017. *“Analisa Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Gedung Pasca Sarjana Universitas Negeri Medan”*. Universitas Negeri Medan. Medan.

Terzaghi, Karl. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Edisi Kedua Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

Triyani, Rida. 2015. “*Analisa Daya Dukung Tanah dan Perencanaan Ulang Pondasi Bored Pile Mengguakan Data Pile Driving Anaylisis (PDA) dan Software Geo5 Pada Pembangunan Hotel Grand Serela*”. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon.

<http://sipilusm.wordpress.com/2010/03/08/perhitungan-pondasi/>

<http://tekniksipil006.wordpress.com/2014/10/12/makalah-penyelidikan-tanah-dengan-sondir/>

<http://petergosondircone penetrationtest.blogspot.com/2011/08/sondir-cone-penetration-test-html>

<http://ilmusipil.com/perencanaan-pondasi-tiang/>

<http://kammisiq.blogspot.co.id/2010/09/standard-penetration-test.html>