

STUDI OPTIMASI FONDASI DALAM PADA GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM JEUMPA KOTA PONTIANAK

Sutria Hartiwi¹, Eka Priadi², Aprianto².

¹ Mahasiswi Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

² Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Semakin tinggi bangunan, maka semakin besar beban yang diterima dan disalurkan ke fondasi tanah. Pada Pembangunan Gedung 9 Lantai Rumah Sakit Umum Jeumpa Pontianak menggunakan fondasi tiang pancang. Tiang pancang yang digunakan yaitu mini pile dengan ukuran 25x25 cm panjang 6 m pada kedalaman 30 m. Banyaknya mini pile menyebabkan tanah terdesak, sehingga permukaan tanah sekitar naik (heaving). Penelitian ini dilakukan analisa ulang terhadap perencanaan fondasi dengan membandingkan penggunaan mini pile 25x25 cm, spun pile diameter 30 cm dan bore pile diameter 60 cm. Hasil penelitian diperoleh daya dukung izin (Q_{all}) terkecil tiang pancang pada kedalaman pemancangan 30 m. Metode Schmertmann (1967) pada daya dukung izin mini pile 490,767 kN, daya dukung izin spun pile 477,616 kN, Daya dukung izin bore pile terkecil berdasarkan metode Aoki dan Velloso (1975) sebesar 367,476 kN. Daya dukung izin mini pile lebih besar dibandingkan spun pile dan bore pile. Hasil analisa diperoleh efisiensi kelompok tiang sangat dipengaruhi oleh jarak antar tiang. Penurunan segera kelompok tiang mini pile paling besar berdasarkan metode Vesic (1977) pada titik fondasi B_2 sebesar 2,421 cm. Berdasarkan analytical Hierarchy process (AHP) dengan membandingkan mini pile, spun pile dan bore pile diperoleh bahwa fondasi terbaik yaitu mini pile.

Kata kunci: Analytical Hierarchy Process (AHP); daya dukung; fondasi dalam; jarak antar tiang, penurunan.

ABSTRACT

The higher a building, the greater the burden received and channeled to the soil foundation. In the Construction of the 9th Floor of the Jeumpa Pontianak General Hospital, the foundation of the piles used was a mini pile with a size of 25x25 cm long by 6 m at a depth of 30 m. The number of mini piles causes the ground to press, so that the surrounding soil surface rises (heaving). This study was re-analyzed of the foundation planning by comparing the use of mini piles 25x25 cm, spun pile diameter of 30 cm and bore pile diameter of 60 cm. The results of the study were obtained the smallest permit carrying capacity (Q_{all}) of the pile at the piling depth of 30 m. The Schmertmann method (1967) on the carrying capacity of 490,767 kN mini pile permits, the bearing capacity of 477,616 kN spun pile permits, the smallest bore pile permit carrying capacity based on the Aoki and Velloso (1975) method of 367,476 kN. The carrying capacity of mini pile permits is greater than that of spun pile and bore pile. The analysis results obtained the efficiency of the pile group is strongly influenced by the distance between the piles. The immediate decrease of the largest group of mini pile piles based on the Vesic method (1977) at the foundation point B_2 was 2,421 cm. Based on the analytical Hierarchy process (AHP) by comparing the mini pile, spun pile and bore pile, it is found that the best foundation is mini pile.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), bearing capacity, deep foundation, distance between piles, settlement.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan pembangunan dan teknologi saat ini negara-negara di dunia berlomba-lomba untuk membangun bangunan tertinggi. Semakin tinggi suatu bangunan maka semakin besar beban yang akan diterima dan disalurkan fondasi ke tanah penunjang yang berada di kedalaman tertentu, apabila bangunan tersebut dibangun diatas tanah lunak atau lempung yang mana tanah kerasnya berada sangat dalam dari atas permukaan tanah

maka sebaiknya digunakan fondasi dalam (deep foundation).

Penelitian dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung 9 Lantai Rumah Sakit Umum Jeumpa Pontianak yang beralamat di Jl.Sultan Abdurrahman No.50 Kota Pontianak. Perencanaan fondasi pada pembangunan Rumah Sakit Umum Jeumpa menggunakan fondasi tiang pancang. Tiang pancang yang digunakan yaitu tiang beton pracetak (*mini pile*) dengan ukuran 25x25 cm panjang 6 m yang dipancang sedalam 30 m. penggunaan *mini pile* sangat banyak,

terutama pada beberapa titik yang terdiri dari 30 titik tiang pancang.

Banyaknya *mini pile* yang digunakan tersebut menyebabkan tanah terdesak sehingga permukaan tanah sekitar naik (*heaving*). Selain itu, penggunaan *minipile* yang terlalu banyak menghabiskan biaya yang mahal. Terdapat beberapa alternatif fondasi dalam selain fondasi tiang pancang menggunakan *minipile*, seperti penggunaan *spun pile* dan *bore pile*. Analisa perhitungan daya dukung ultimit tiang dilakukan pada kedalaman tiang 18 m dan 30 m. Analisa perhitungan pada kedalaman tiang 18 m dilakukan karena dari data CPT dan SPT diketahui bahwa pada kedalaman tanah 18 m – 19,5 m merupakan lapisan pasir.

Pada penelitian ini dilakukan analisa ulang terhadap perencanaan fondasi dengan tujuan untuk dapat mengoptimalkan penggunaan fondasi dalam baik dari jenis tiang yang digunakan, jarak antar tiang, jumlah tiang serta dimensi kelompok tiang. Pemilihan alternatif fondasi terbaik dilakukan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Fondasi Tiang

Fondasi tiang digunakan apabila suatu bangunan dibangun di atas tanah lunak dimana letak tanah kerasnya berada sangat dalam dari permukaan tanah. Klasifikasi fondasi tiang berdasarkan jenis bahan tiang dan pembuatannya dapat dibedakan menjadi fondasi tiang kayu, tiang baja, tiang beton pracetak, *prestressed spun pile*, tiang beton cetak ditempat, tiang komposi, tiang bor.

Daya Dukung Ijin Dan Faktor Keamanan

Berdasarkan SNI 8460:2017 pasal 9.2.3.1 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik menyatakan bahwa “daya dukung izin fondasi diperoleh dari daya dukung ultimit fondasi tersebut dibagi dengan suatu faktor keamanan yang besarnya minimum 3 untuk fondasi dangkal atau minimum 2,5 untuk fondasi dalam.”

Daya Dukung Tiang Berdasarkan Hasil CPT

Berdasarkan data CPT untuk menghitung daya dukung ultimit tiang dapat menggunakan metode-metode berikut:

a. Metode Schmertmann-Nottingham (1975)

Daya dukung ujung fondasi tiang yaitu dengan meninjau perlawanan ujung sondir hingga jarak 8D di atas ujung tiang dan dari 0,7D hingga 4D di bawah ujung tiang (lihat Gambar 1.) dimana D adalah diameter atau sisi tiang, sehingga:

$$Q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \cdot A_p$$

(1)

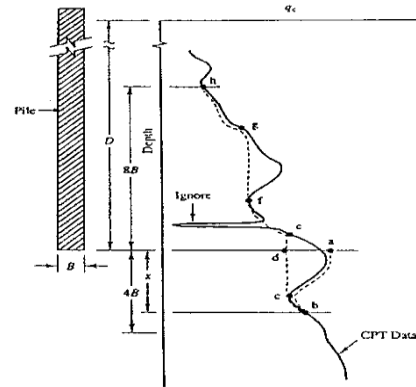
Dengan:

Q_p = daya dukung ujung ultimit tiang

q_{c1} = nilai q_c rata-rata pada 0,7D ~ 4D dibawah ujung tiang

q_{c2} = nilai q_c rata-rata dari ujung tiang hingga 8D di atas ujung tiang

A_p = luas proyeksi penampang tiang



Gambar 1. Deskritisasi daya dukung ujung (Schmertmann, 1974)

Daya dukung selimut tiang maka dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_s = K_{s,c} \cdot \left[\sum_{z=0}^{8 \cdot D} \frac{z}{8 \cdot D} \cdot f_s \cdot A_s + \sum_{z=8 \cdot D}^L f_s \cdot A_s \right]$$

(2)

b. Metode Tumay dan Fakhroo (1982)

Tahanan ujung tiang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$q_t = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{4} + \frac{q_a}{2}$$

(3)

Dimana:

q_{c1} = rata-rata nilai q_c 4D di bawah ujung tiang

q_{c2} = rata-rata nilai q_c 8D di atas ujung tiang

q_a = rata-rata nilai q_c minimum 8D di atas ujung tiang

Tumay dan Fakhroo menyarankan batas atas 150 TSF (15 MPa) untuk tahanan ujung tiang q_t .

skin friction $(f_s) = \alpha \times f_{sa}$

(4)

dimana faktor adhesi tiang α adalah:

$$\alpha = 0,5 + 9,5e^{-9f_{sa}}$$

(5)

dimana:

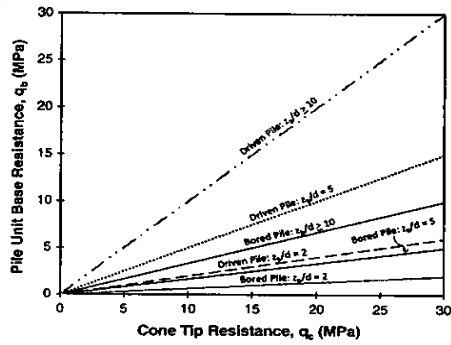
$$f_{sa} = \frac{F_t}{L} \quad \text{(TSF)}$$

(6)

F_t adalah total friksi penetrasi konus yang ditentukan oleh panjang penetrasi tiang L.

c. Metode Mayerhof (1983)

Mayerhof (1983) mengembangkan hasil uji CPT dan *loading test* pada tiang pancang dan tiang bor untuk memperoleh persamaan desain dan grafik yang akurat, dimana efek dari diameter ujung tiang diperhitungkan.



Gambar 2. Hubungan tahanan ujung dengan q_c CPT (Mayerhof, 1983)

Tahanan selimut dan tahanan ujung tiang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$f_p = n_{sf} \cdot f_s \quad (7)$$

$$q_b = q_1 \cdot \frac{L}{L_c} \leq q_1 \quad (8)$$

Untuk menghitung daya dukung selimut dapat juga menggunakan persamaan berikut:

$$Q_s = TF \times p \quad (9)$$

Dimana:

f_p = tahanan selimut tiang (ton/m²)

q_b = tahanan ujung tiang (ton/m²)

q_1 = rata-rata q_c pada jarak 4D di atas serta 1 D di bawah dari ujung tiang (ton/m²)

L = Panjang tiang (m)

L_c = 10D – 4D = panjang kritis tiang (m)

D = Dimensi tiang (m)

TF = total friksi (kg/cm)

p = keliling penampang tiang (m)

n_{sf} = faktor reduksi tahanan selimut yang tergantung dari jenis tiang. Untuk *drilled shaft* maka $n_{sf} = 0,7$ dan untuk *driven pile* maka $n_{sf} = 1,0$.

Daya Dukung Tiang Dari Hasil *Standard Penetration Test* (SPT)

a. Metode Mayerhof (1976)

Untuk jenis tanah dan jenis tiang yang berbeda, Mayerhof (1956) menganjurkan formula daya dukung untuk tiang pancang sebagai berikut:

$$Q_{ult} = 400 \cdot N_b \cdot A_p + 2 \cdot N \cdot A_s \quad (10)$$

Dimana:

Q_{ult} = daya dukung ultimit fondasi tiang pancang (kN)

N_b = nilai N_{SPT} pada dasar tiang

A_p = luas penampang dasar tiang (m²)

A_s = luas selimut tiang

N = nilai N_{SPT} rata-rata sepanjang tiang

Mayerhof (1976) memberikan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang sebagai berikut:

$$q_p = 0,4 \cdot p_a \cdot N_{60} \cdot \frac{L}{D} \leq 4 \cdot p_a \cdot N_{60} \quad (11)$$

Dimana:

N_{60} = rata-rata N_{SPT} pada kedalaman 10D diatas dan 4D dibawah ujung tiang

p_a = tekanan atmosfer (100 kN/m² atau 2000 lb/ft²)

Tabel 1. Nilai gesekan selimut dan tahanan ujung untuk desain fondasi tiang pancang (Schmertmann, 1967)

Jenis Tanah	Deskripsi	Gesekan Selimut	Tahanan Ujung
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
Pasir bersih ^a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	$0,019 \cdot N_{SPT}$	$3,2 \cdot N_{SPT}$
Lempung lanau bercampur pasir, pasir kelanauan,	GC, SC, ML, CL	$0,04 \cdot N_{SPT}$	$1,6 \cdot N_{SPT}$
Lempung plastis	CH, OH	$0,05 \cdot N_{SPT}$	$0,7 \cdot N_{SPT}$
Batu gamping rapuh, pasir	-	$0,01 \cdot N_{SPT}$	$3,6 \cdot N_{SPT}$

b. Metode Schmertmann (1967)

Schmertmann (1967) menggunakan korelasi N_{SPT} dengan tahanan ujung tiang (q_c) sondir untuk menentukan daya dukung gesekan dan daya dukung ujung fondasi tiang.

a : berlaku di atas maupun di bawah muka air

* : untuk $N > 60$, diambil $N = 60$

** : dianjurkan untuk memberikan reduksi pada lempung teguh dan lempung pasira

c. Metode Brown (2001)

Metode Brown (2001) menggunakan korelasi empiris hasil pengujian SPT (N_{60}).

Persamaan unit tahanan selimut tiang:

$$f_s = F_{vs}(A_b + B_b \cdot N_{60}) \quad (12)$$

N_{60} adalah nilai N_{SPT} yang telah dikoreksi terhadap efisiensi energi dan F_{vs} adalah faktor reduksi untuk pemancangan tiang dengan cara vibrasi. A_b dan B_b ditentukan dari analisa regresi data-data berdasarkan jenis tanah yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Unit tahanan ujung pada sistem pemancangan menggunakan beban impak dapat dihitung dengan persamaan:

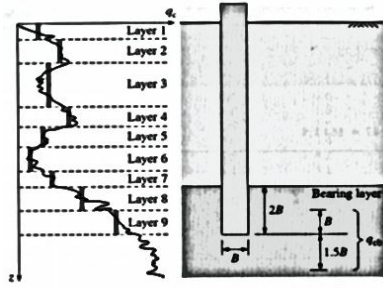
$$q_p = 170 \cdot N_{60} \text{ (kPa)} \quad (13)$$

Tabel 2. nilai-nilai faktor reduksi untuk metode Brown (FHWA,2006)

Kondisi Beban	Metode Instalasi	Jenis Tanah	F_{vs}	A_b kPa	B_b kPa/bpf
Tekan	Impak	Clay to sand	1,00	26,60	1,92
Tekan	Impak	Gravelly Sand to Boulders	1,00	42,60	42,60
Tekan	Impak	Rock	1,00	138,00	138,00
Tarik	Impak	Clay to sand	1,00	25,00	1,80
Tarik	Impak	Gravelly Sand to Boulders	1,00	40,00	0,00
Tarik	Impak	Rock	1,00	130,00	0,00
Tarik	vibrasi	Clay to sand	0,68	25,00	1,80
Tarik	vibrasi	Gravelly Sand to Boulders	0,68	40,00	0,00
Tarik	vibrasi	Rock	0,68	130,00	0,00

Daya Dukung Tiang Bor Hasil CPT

Berdasarkan hasil CPT maka profil tanah dibagi menjadi beberapa lapisan seperti pada Gambar 2.14



Gambar 3. Deskritisasi profil tanah berdasarkan nilai CPT

Persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang dan tahanan selimut tiang:

$$q_b = c_b \times q_{cb} \quad (14)$$

$$q_s = c_s \times q_{ci} \quad (15)$$

Dimana:

q_b = tahanan ujung tiang (kg/cm^2)

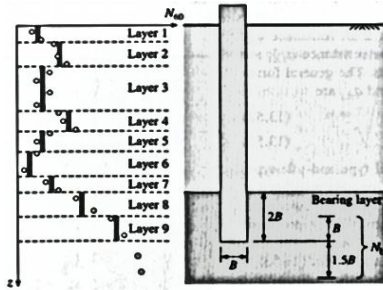
c_b, c_s = koefisien berdasarkan jenis tanah

q_{cb} = perlawanan konus pada ujung tiang

q_{ci} = perlawanan konus pada layer ke-i

Daya Dukung Tiang Bor Hasil SPT

Berdasarkan hasil SPT maka profil tanah dibagi menjadi beberapa lapisan seperti pada Gambar 215.



Gambar 4. Deskritisasi profil tanah berdasarkan nilai SPT

Berikut persamaan untuk menghitung tahanan ujung dan tahanan selimut tiang:

$$\frac{q_b}{P_A} = n_b \times N_b \quad (16)$$

$$\frac{q_{si}}{P_A} = n_{si} \times N_{si} \quad (17)$$

Dimana:

q_b = tahanan ujung tiang (kg/cm^2)

N_b = rata-rata N_{SPT} pada ujung tiang

P_A = tekanan atmosfer (100 kN/m^2)

n_b, n_s = koefisien berdasarkan jenis tanah

q_s = tahanan selimut tiang pada layer ke-i

N_{si} = rata-rata N_{SPT} pada layer ke-i

Efisiensi Tiang Pada Tanah Kohesif

Metode untuk menghitung nilai efisiensi tiang yaitu metode Converse-Labarre karena pada metode tersebut jarak antar tiang berpengaruh terhadap besarnya nilai efisiensi. Berikut persamaan dari metode Converse-Labarre :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (18)$$

Dimana :

E_g = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

$\theta = \arctan d/s$ ($^\circ$)

s = jarak as ke as tiang (m)

d = diameter tiang (m)

efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai:

$$E_g = \frac{Q_g}{nQ_u} \quad (19)$$

Dimana:

E_g = efisiensi kelompok tiang

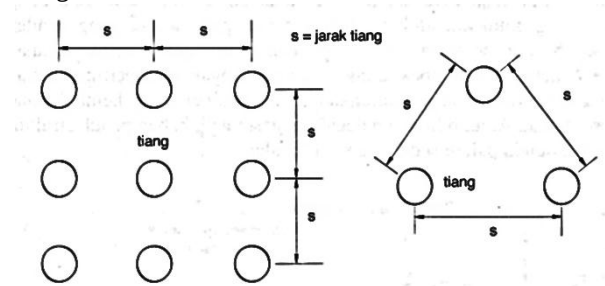
Q_g = beban maksimum kelompok tiang

Q_u = beban maksimum tiang tunggal

n = jumlah tiang dalam kelompok

Jarak Tiang

Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan perancangan geoteknik pasal 9.7.1.2 menyatakan bahwa untuk fondasi tiang jarak as ke as tidak boleh kurang dari keliling tiang atau untuk tiang berbentuk lingkaran tidak boleh kurang dari 2,5 kali diameter tiang.



Gambar 5. Definisi jarak (s) dalam efisiensi tiang.

Daya Dukung Kelompok Tiang

Daya dukung kelompok tiang berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan perancangan geoteknik pasal 9.7.1.1 dinyatakan berdasarkan persamaan:

$$Q_g = E_g n Q_{all} \quad (20)$$

Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan fondasi tiang pada tanah kohesif terdiri atas dua komponen yaitu:

- Penurunan seketika (*short term settlement*) yang terjadi segera setelah beban bekerja.
- Penurunan jangka panjang atau penurunan konsolidasi, yang terjadi secara berangsur-angsur bersamaan dengan disipasi tekanan air pori eksese.

Untuk penurunan seketika, dapat menggunakan metode yang digunakan pada tanah pasir.

Penurunan Seketika Kelompok Tiang

a. Metode Vesic (1977)

Vesic (1977) memberikan formula sederhana sebagai berikut:

$$S_g = S_e \cdot \sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (21)$$

Dimana:

S_e = penurunan elastis fondasi tiang tunggal

S_g = penurunan kelompok tiang

B_g = lebar kelompok tiang

D = diameter atau sisi tiang tunggal

b. Metode Mayerhof (1976)

Mayerhof (1976) memberikan formula empiris sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil SPT

$$S_g = 2 \cdot q \cdot \sqrt{\frac{B_g \cdot l}{N}} \quad (22)$$

$$I = \left[1 - \frac{L}{8 \cdot B_g} \right] \geq 0,5 \quad (23)$$

Dimana:

q = tekanan pada dasar fondasi (ton/ft²)

B_g = lebar kelompok tiang (ft)

N = nilai rata-rata N_{SPT} terkoreksi pada kedalaman $\cong B_g$ dibawah kelompok fondasi tiang

L = Panjang tiang (ft)

- Berdasarkan data sondir (q_c)

$$S_g = \frac{q \cdot B_g \cdot l}{2 \cdot q_c} \quad (24)$$

Formula-formula diatas adalah berdasarkan anggapan bahwa tanah bersifat homogen dalam daerah pengaruh fondasi.

Penurunan Konsolidasi Kelompok Tiang

Langkah-langkah menghitung perkiraan penurunan kelompok fondasi tiang pada tanah lempung:

- Tentukan tegangan kerja:

$$q = \frac{Q}{B_g \cdot L_g} \quad (25)$$

Tegangan kerja ini harus lebih kecil dari tegangan ijin tanah.

- Beban yang bekerja di atas kelompok tiang dialihkan pada kedalaman 2/3 dari panjang tiang di bawah *pile cap*. Penurunan tanah diatas kedalaman tersebut sangat kecil sehingga dapat diabaikan.
- Setelah beban kerja dipindahkan maka kemudian dibarkan ke bawah fondasi tiang dengan asumsi bahwa pola penyebaran vertical: horizontal = 2:1.
- Lapisan tanah yang berkonsolidasi dibagi menjadi beberapa lapis yang lebih tipis, dan untuk tiap lapis harus ditentukan parameter kompresibilitas berupa *compression index* atau C_c , tegangan efektif awal (p_o') dan besarnya peningkatan tegangan (Δp) akibat beban yang bekerja. Penjumlahan penurunan konsolidasi dari seluruh lapis merupakan penurunan konsolidasi dari kelompok tiang. Pada tanah lempung yang terkonsolidasi normal (NC) digunakan persamaan berikut:

$$S_g = \sum \left[\frac{C_c \cdot \Delta H}{1 + e_o} \cdot \log \left(\frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \right) \right] \quad (26)$$

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970. AHP merupakan suatu model pengambilan keputusan multikriteria ke dalam suatu proses yang sistematis.

a. Skala Perbandingan Berpasangan

Tabel 3. Skala Perbandingan (Saaty, 1993)

Intensitas Kepentingan	Keterangan	Penjelasan
1	Kedua elemen sama pentingnya	Dua elemen yang mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap tujuan
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen lainnya	Pengalaman dan penilaian sangat kuat menyokong satu elemen dibanding elemen lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada elemen lainnya	Pengalaman dan penilaian sangat kuat menyokong satu elemen lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya	Satu elemen yang kuat menyokong satu elemen dibanding elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya	Bukti yang mendukung satu elemen terhadap elemen yang lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menaungkan
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan	Nilai ini diberikan bila ada dua kompromi diantara dua pilihan
Kebalikan	Jika untuk aktivitas i mendapatkan satu angka dibandingkan dengan aktivitas j maka j mempunyai nilai kebalikannya dibandingkan dengan nilai i	

b. Perhitungan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Penyimpangan dari konsekuensi dinyatakan dalam indeks konsistensi yang didapat dari rumus:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (27)$$

Keterangan:

λ_{maks} = nilai eigen maksimum

n = ukuran matriks

Consistency Index (CI), matrik random yang digunakan dengan skala penelitian 1 sampai dengan 9, beserta kebalikannya sebagai *Random Index* (RI).

Tabel 4. Nilai indeks random (Saaty, 1980)

Ukuran Matriks	1,2	3	4	5	6	7	8	9
Indeks Random	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,49

$$CR = \frac{CI}{RI} \leq 0,1 \quad (28)$$

Untuk model AHP matriks perbandingan dapat diterima jika nilai rasio konsistensinya tidak lebih dari 0,1 atau sama dengan 0,1

1. Metodologi Penelitian

Lokasi Penelitian:

Penelitian dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung 9 Lantai Rumah Sakit Umum Jeumpa Pontianak yang beralamat di Jl.Sultan Abdurrahman



Gambar 6. Lokasi Rumah Sakit Umum Jeumpa Langkah-Langkah Penelitian

a. Studi Literatur

b. Pengumpulan data

Data yang digunakan untuk penelitian ini adalah data sekunder yang didapat dari pihak konsultan dan kontraktor proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Umum Jeumpa Pontianak. Data sekunder tersebut meliputi data CPT dan data SPT yang digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi serta penurunan yang terjadi, sedangkan gambar rencana digunakan untuk menghitung struktur atas dari bangunan tersebut sehingga diperoleh besar beban yang bekerja pada kolom yang akan dipikul oleh pondasi.

c. Langkah-langkah perhitungan

- Perhitungan daya dukung tiang pancang

Metode untuk perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan data CPT yaitu:

- Metode Schmertmann-Nottingham (1975)
- Metode Tumay dan Fakhroo (1982)
- Metode Mayerhof (1983)

Perhitungan daya dukung tiang pada kedalaman 18 m dan 30 m berdasarkan data SPT menggunakan:

- Metode Mayerhof (1976)
- Metode Schmertmann (1967)
- Metode Brown (2001)
- Perhitungan daya dukung tiang bor

Perhitungan daya dukung ujung tiang bor berdasarkan data CPT menggunakan metode Franke (1983) dan metode Ghionna et al. (1994) untuk perhitungan daya dukung ujung tiang, sedangkan untuk daya dukung selimut tiang berdasarkan metode Aoki dan Velloso (1975) serta Lopes dan Laprovitera (1988).

Perhitungan daya dukung tiang bor berdasarkan data SPT menggunakan metode Aoki dan Velloso (1975) serta Lopes dan Laprovitera (1988).

- Perhitungan kelompok tiang

Pada perencanaan kelompok tiang ini dihitung jarak antar tiang serta susunan tiang sehingga diperoleh lebar dan panjang blok pondasi. Selanjutnya akan dihitung efisiensi tiang, karena semakin dekat jarak antar tiang maka kapasitas dukung selimut tiang akan berkurang.

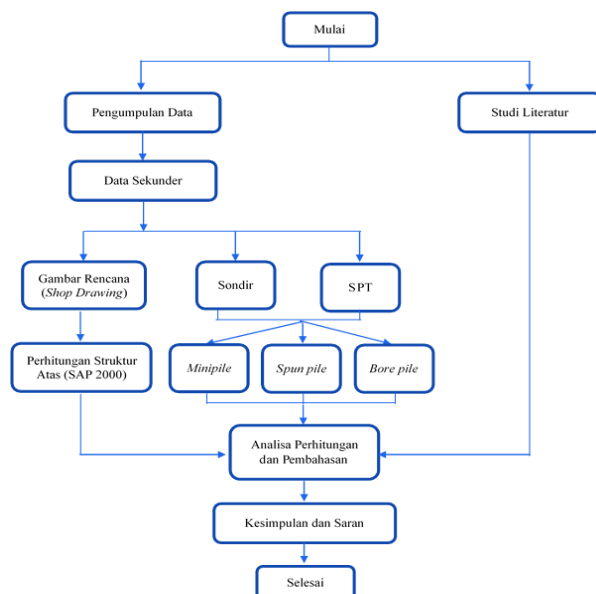
- Perhitungan penurunan tiang

Menghitung penurunan seketika dan penurunan konsolidasi primer.

- Pemilihan keputusan

Pemilihan keputusan jenis pondasi terbaik akan dilakukan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Diagram Alir Penelitian



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Struktur Atas

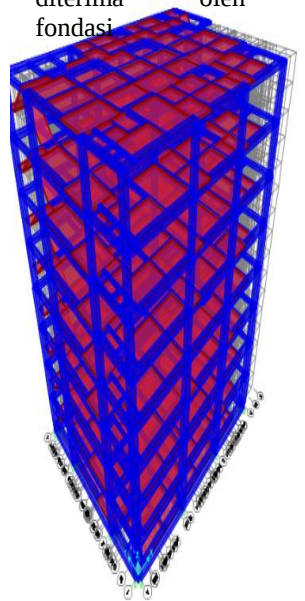
Analisa struktur atas gedung RSU Jeumpa kota Pontianak dilakukan dengan membuat pemodelan struktur atas menggunakan aplikasi SAP2000 versi 20 untuk mendapatkan beban vertikal yang akan ditransfer ke fondasi.

Beban vertikal yang digunakan untuk perencanaan fondasi (Q_{sap}) yang diperoleh dari hasil kombinasi beban tetap yaitu pada kombinasi pembebanan D + L.

Hasil Output Program

No	Q_{sap} (kN)
A1	1688,086
A2	3839,11
A3	3922,83
A4	1756,39
B1	2949,97
B2	6824,23
B3	6208,79
B4	2231,65
C1	2842,2
C2	6512,24
C3	6666,87
C4	2824,26
D1	1337,76
D2	3651,52
D3	4268,81
D4	2303,15
E3	801,713
E4	830,483

Tabel 5. Beban vertikal yang diterima oleh fondasi



Gambar 9. Tampak 3D pemodelan struktur atas gedung 9 lantai RSU Jeumpa Kota Pontianak

Analisa Daya Dukung Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan yaitu *mini pile* dan *spun pile*.

Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Cone Penetration Test (CPT)

Analisa daya dukung tiang pancang untuk *mini pile* dan *spun pile* berdasarkan CPT menggunakan metode Schmertmann-Nottingham (1975), Tumay & Fakhroo (1982) dan Mayerhof (1983).

Tabel 6. Hasil perhitungan daya dukung *mini pile* 20 cm x 20 cm dan *spun pile* diameter 30 cm berdasarkan data CPT

Keterangan	Satuan	Metode					
		Schmertmann-Nottingham (1975)		Tumay & Fakhroo (1982)		Mayerhof (1983)	
		Mini Pile	Spun pile	Mini Pile	Spun pile	Mini pile	Spun pile
Daya dukung ujung (Q_p)	kN	520,881	560,913	463,566	464,24	607,588	658,163
Daya dukung selimut (Q_s)	kN	417,664	393,422	1045,8	985,643	2090,6	1970,344
Daya dukung ultimate (Q_{ult})	kN	938,545	954,335	1509,366	1449,883	2698,188	2628,507
Daya dukung izin (Q_{all})	kN	375,418	381,734	603,746	579,953	1079,275	1051,403

Dari Tabel 6. dapat diketahui bahwa daya dukung izin terkecil (Q_{all}) diperoleh berdasarkan metode Schmertmann-Nottingham (1975) yaitu untuk

daya dukung izin *mini pile* sebesar 375,418 kN dan daya dukung izin *spun pile* 381,734 kN.

Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan *Standard Penetration Test* (SPT)

Tabel 7. Hasil perhitungan daya dukung *mini pile* dan *spun pile* berdasarkan data SPT pada kedalaman 18 m

Keterangan	Satuan	Metode					
		Mayerhof (1976)		Schmertmann (1967)		Brown (2001)	
		Mini Pile	Spun pile	Mini Pile	Spun pile	Mini Pile	Spun pile
Daya dukung ujung (Q_b)	kN	303,125	344,35	200	226,195	212,5	240,332
Daya dukung selimut (Q_s)	kN	218	205,46	251	236,562	620,88	585,166
Daya dukung ultimit (Q_{ult})	kN	521,125	549,81	451	462,757	833,38	825,498
Daya dukung izin (Q_{all})	kN	208,45	219,924	180,4	185,103	333,352	330,199

Dari Tabel 7. Dapat diketahui bahwa daya dukung izin terkecil berdasarkan data SPT diperoleh berdasarkan metode Schmertmann (1967), dan apabila dibandingkan dengan perhitungan menggunakan data CPT (Tabel 6.) maka daya dukung terkecil diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan data SPT sehingga untuk perencanaan tiang kelompok pada kedalaman 18 m menggunakan daya dukung berdasarkan data SPT yang mana diperoleh daya dukung izin *mini pile* sebesar 180,400 kN dan daya dukung izin *spun pile* sebesar 185,103 kN.

Tabel 8. Hasil perhitungan daya dukung *mini pile* dan *spun pile* berdasarkan data SPT pada kedalaman 30 m

Keterangan	Satuan	Metode					
		Mayerhof (1976)		Schmertmann (1967)		Brown (2001)	
		Mini Pile	Spun pile	Mini Pile	Spun pile	Mini Pile	Spun pile
Daya dukung ujung (Q_b)	kN	468,75	530,144	200	226,195	212,5	240,332
Daya dukung selimut (Q_s)	kN	1011,333	953,159	1026,917	967,846	1258,8	1186,391
Daya dukung ultimit (Q_{ult})	kN	1480,083	1483,303	1226,917	1194,041	1471,3	1426,723
Daya dukung izin (Q_{all})	kN	592,033	593,321	490,767	477,616	588,52	570,689

Dari Tabel 8. Dapat diketahui bahwa daya dukung izin terkecil berdasarkan data SPT diperoleh berdasarkan metode Schmertmann (1967) sehingga untuk perencanaan tiang kelompok pada kedalaman pemancangan 30 m digunakan daya dukung berdasarkan metode Schmertmann (1967).

Analisa Daya Dukung Tiang Bor

Daya Dukung Tiang Bor berdasarkan *Cone Penetration Test* (CPT)

- Daya Dukung Ujung Tiang bor (Q_b)

Berdasarkan metode Franke (1989) diperoleh $Q_b = 443,155$ kN sedangkan berdasarkan metode Ghionna et al. (1994) diperoleh $Q_b = 243,735$ kN sehingga yang digunakan untuk menghitung Q_{ult} adalah nilai Q_b terkecil yaitu $Q_b = 243,735$ kN.

- Daya Dukung Selimut Tiang bor (Q_s)

Berdasarkan metode Aoki dan Velloso (1975) diperoleh $Q_s = 361,173$ kN sedangkan berdasarkan metode Lopes dan Laprovitera (1988) diperoleh 722,345 kN sehingga yang digunakan untuk menghitung Q_{ult} adalah nilai Q_s terkecil yaitu $Q_s = 361,173$ kN.

- Daya Dukung Ijin Tiang bor (Q_{all})

- Menghitung daya dukung ultimit tiang bor (Q_{ult}):

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s$$

$$Q_{ult} = 370,630 \text{ kN} + 361,173 \text{ kN} = 731,803 \text{ kN}$$

- Maka daya dukung ijin tiang bor (Q_{all}):

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{731,803}{2,5} = 292,721 \text{ kN}$$

Daya Dukung Tiang Bor berdasarkan *Standard Penetration Test* (SPT)

Tabel 9. Rekapitulasi Daya dukung izin (Q_{all}) berdasarkan data SPT

Keterangan	Satuan	Metode			
		Aoki dan Velloso (1975)		Lopes dan Laprovitera (1988)	
		18	30	18	30
kedalaman tiang bor (D)	m	18	30	18	30
Daya dukung ujung (Q_b)	kN	326,828	451,236	329,113	413,866
Daya dukung selimut (Q_s)	kN	104,332	467,455	221,859	972,722
Daya dukung ultimit (Q_{ult})	kN	431,16	918,691	550,972	1386,588
Daya dukung izin (Q_{all})	kN	172,464	367,476	220,389	554,635

Dari Tabel 9. dapat diketahui bahwa berdasarkan data SPT di kedalaman tiang bor 18 m yang digunakan adalah nilai Q_{ult} terkecil berdasarkan metode Aoki dan Velloso (1975) yaitu $Q_{all} = 172,464$ kN dan apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan CPT yang mana $Q_{all} = 292,721$ kN maka yang digunakan untuk perencanaan adalah nilai daya dukung izin terkecil yaitu berdasarkan data SPT. Untuk kedalaman tiang bor 30 m digunakan $Q_{all} = 367,476$ kN.

Kelompok Tiang

Tabel 10. Tiang pancang kelompok pada kedalaman 18 m sebelum dilakukan efisiensi kelompok tiang

No	Qall mini pile (kN)	Qall spun pile (kN)	Qsap (kN)	Banyak tiang eksisting	Banyak tiang analisis		
					mini pile	spun pile	
A1	180,400	185,103	1688,085	12	9,36	10	9,120
A2	180,400	185,103	3838,110	18	21,28	22	20,740
A3	180,400	185,103	3922,830	18	21,75	22	21,193
A4	180,400	185,103	1756,390	12	9,74	10	9,489
B1	180,400	185,103	2949,970	17	16,35	17	15,937
B2	180,400	185,103	6824,230	31	37,83	38	36,867
B3	180,400	185,103	6208,790	30	34,42	35	33,542
B4	180,400	185,103	2231,650	18	12,37	13	12,056
C1	180,400	185,103	2842,200	17	15,75	16	15,355
C2	180,400	185,103	6512,240	31	36,10	37	35,182
C3	180,400	185,103	6666,870	30	36,96	37	36,017
C4	180,400	185,103	2824,260	18	15,66	16	15,258
D1	180,400	185,103	1337,760	16	7,42	8	7,227
D2	180,400	185,103	3651,520	18	20,24	21	19,727
D3	180,400	185,103	4268,810	18	23,66	24	23,062
D4	180,400	185,103	2303,150	16	12,77	13	12,443
E3	180,400	185,103	801,713	6	4,44	5	4,331
E4	180,400	185,103	830,483	4	4,60	5	4,487

Dari Tabel 10 diatas diketahui bahwa jumlah tiang pancang baik *mini pile* maupun *spun pile* untuk setiap blok fondasinya sangat banyak hingga mencapai 36 titik untuk satu blok fondasi, banyaknya tiang tersebut belum dilakukan efisiensi terhadap kelompok tiang, apabila telah dilakukan efisiensi kelompok tiang maka jumlah tiang akan semakin banyak sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan pemancangan di 18 m. Sehingga untuk perhitungan selanjutnya hanya dilakukan pada kedalaman 30 m.

Daya dukung kelompok tiang

Tabel 11. Rekapitulasi efisiensi kelompok *mini pile* berdasarkan metode *Converse-Labarre*

No	Sisi tiang	Jumlah baris	Jumlah kolom	Jarak tiang	Efisiensi Tiang
	(B)	(m)	(n')	(s)	(Eg)
-				m	
A1	0,25	3	2	1,00	0,818
A2	0,25	4	3	1,00	0,779
A3	0,25	4	3	1,00	0,779
A4	0,25	3	2	1,00	0,818
B1	0,25	3	3	1,00	0,792
B2	0,25	5	4	1,00	0,758
B3	0,25	5	4	1,00	0,758
B4	0,25	3	3	1,00	0,792
C1	0,25	3	3	1,00	0,792
C2	0,25	5	4	1,00	0,758
C3	0,25	5	4	1,00	0,758
C4	0,25	3	3	1,00	0,792
D1	0,25	3	2	1,00	0,818
D2	0,25	4	3	1,00	0,779
D3	0,25	4	3	1,00	0,779
D4	0,25	3	2	1,00	0,818
E3	0,25	2	2	1,00	0,844
E4	0,25	2	2	1,00	0,844

Tabel 12. Kontrol daya dukung kelompok *mini pile* dan dimensi blok fondasi

No	Efisiensi tiang (Eg)	Banyak tiang desain (n)	Daya dukung izin tiang (Qall)	Daya dukung kelompok tiang (Qg)	Beban struktur atas (Qsap)	Keterangan	Panjang blok Lg	Lebar blok Bg
-	-	-	kN	kN	kN	-	m	m
A1	0,818	6	490,767	2408,826	1688,086	OKE	2,25	1,25
A2	0,779	12	490,767	4588,035	3839,110	OKE	3,25	2,25
A3	0,779	12	490,767	4588,035	3922,830	OKE	3,25	2,25
A4	0,818	6	490,767	2408,826	1756,390	OKE	2,25	1,25
B1	0,792	9	490,767	3498,431	2949,970	OKE	2,25	2,25
B2	0,758	20	490,767	7442,621	6824,230	OKE	4,25	3,25
B3	0,758	20	490,767	7442,621	6208,790	OKE	4,25	3,25
B4	0,792	9	490,767	3498,431	2231,650	OKE	2,25	2,25
C1	0,792	9	490,767	3498,431	2842,200	OKE	2,25	2,25
C2	0,758	20	490,767	7442,621	6512,240	OKE	4,25	3,25
C3	0,758	20	490,767	7442,621	6666,870	OKE	4,25	3,25
C4	0,792	9	490,767	3498,431	2824,260	OKE	2,25	2,25
D1	0,818	6	490,767	2408,826	1337,760	OKE	2,25	1,25
D2	0,779	12	490,767	4588,035	3651,520	OKE	3,25	2,25
D3	0,779	12	490,767	4588,035	4268,810	OKE	3,25	2,25
D4	0,818	6	490,767	2408,826	2303,150	OKE	2,25	1,25
E3	0,844	4	490,767	1656,910	801,713	OKE	1,25	1,25
E4	0,844	4	490,767	1656,910	830,483	OKE	1,25	1,25

Tabel 13. Rekapitulasi efisiensi kelompok *spun pile* berdasarkan metode *Converse-Labarre*

No	Diameter tiang (B)	Jumlah baris (m)	Jumlah kolom (n')	Jarak tiang (s)	Efisiensi Tiang (Eg)
-	m	-	-	m	-
A1	0,30	3	2	0,90	0,761
A2	0,30	4	3	0,90	0,710
A3	0,30	4	3	0,90	0,710
A4	0,30	3	2	0,90	0,761
B1	0,30	3	3	0,90	0,727
B2	0,30	5	5	0,90	0,672
B3	0,30	5	5	0,90	0,672
B4	0,30	3	3	0,90	0,727
C1	0,30	3	3	0,90	0,727
C2	0,30	5	5	0,90	0,672
C3	0,30	5	5	0,90	0,672
C4	0,30	3	3	0,90	0,727
D1	0,30	3	3	0,90	0,727
D2	0,30	4	3	0,90	0,710
D3	0,30	4	4	0,90	0,693
D4	0,30	3	3	0,90	0,727
E3	0,30	2	2	0,90	0,795
E4	0,30	2	2	0,90	0,795

Tabel 14. Kontrol daya dukung kelompok *spun pile* dan dimensi blok fondasi

No	Efisiensi tiang (Eg)	Banyak tiang desain (n)	Daya dukung izin tiang (Qall)	Daya dukung kelompok tiang (Qg)	Beban struktur atas (Qsap)	Keterangan	Panjang blok Lg	Lebar blok Bg
-	-	-	kN	kN	kN	-	m	m
A1	0,761	6	477,616	2180,878	1688,086	OKE	2,10	1,20
A2	0,710	12	477,616	4068,262	3839,110	OKE	3,00	2,10
A3	0,710	12	477,616	4068,262	3922,830	OKE	3,00	2,10
A4	0,761	6	477,616	2180,878	1756,390	OKE	2,10	1,20
B1	0,727	9	477,616	3124,570	2949,970	OKE	2,10	2,10
B2	0,672	25	477,616	8027,152	6824,230	OKE	3,90	3,90
B3	0,672	25	477,616	8027,152	6208,790	OKE	3,90	3,90
B4	0,727	9	477,616	3124,570	2231,650	OKE	2,10	2,10
C1	0,727	9	477,616	3124,570	2842,200	OKE	2,10	2,10
C2	0,672	25	477,616	8027,152	6512,240	OKE	3,90	3,90
C3	0,672	25	477,616	8027,152	6666,870	OKE	3,90	3,90
C4	0,727	9	477,616	3124,570	2824,260	OKE	2,10	2,10
D1	0,727	9	477,616	3124,570	1337,760	OKE	2,10	2,10
D2	0,710	12	477,616	4068,262	3651,520	OKE	3,00	2,10
D3	0,693	16	477,616	5293,907	4268,810	OKE	3,00	3,00
D4	0,727	9	477,616	3124,570	2303,150	OKE	2,10	2,10
E3	0,795	4	477,616	1519,140	801,713	OKE	1,20	1,20
E4	0,795	4	477,616	1519,140	830,483	OKE	1,20	1,20

Tabel 15. Rekapitulasi efisiensi kelompok *bore pile* berdasarkan metode *Converse-Labarre*

No	Diameter tiang (B)	Jumlah baris (m)	Jumlah kolom (n')	Jarak tiang (s)	Efisiensi Tiang (Eg)
-	m	-	-	m	-
A1	0,60	3	3	1,80	0,727
A2	0,60	4	4	1,80	0,693
A3	0,60	4	4	1,80	0,693
A4	0,60	3	3	1,80	0,727
B1	0,60	4	3	1,80	0,710
B2	0,60	6	5	1,80	0,665
B3	0,60	6	5	1,80	0,665
B4	0,60	3	3	1,80	0,727
C1	0,60	4	3	1,80	0,710
C2	0,60	6	5	1,80	0,665
C3	0,60	6	5	1,80	0,665
C4	0,60	4	3	1,80	0,710
D1	0,60	3	2	1,80	0,761
D2	0,60	4	4	1,80	0,693
D3	0,60	5	4	1,80	0,683
D4	0,60	3	3	1,80	0,727
E3	0,60	2	2	1,80	0,795
E4	0,60	2	2	1,80	0,795

Tabel 16. Kontrol daya dukung kelompok *bore pile* dan dimensi blok fondasi

No	Efisiensi tiang (Eg)	Banyak tiang desain (n)	Daya dukung izin tiang (Qall)	Daya dukung kelompok tiang (Qg)	Beban struktur atas (Qsap)	Keterangan	Panjang blok Lg	Lebar blok Bg
-	-	-	kN	kN	kN	-	m	m
A1	0,727	9	367,476	2404,033	1688,086	OKE	4,20	4,20
A2	0,693	16	367,476	4073,113	3839,110	OKE	6,00	6,00
A3	0,693	16	367,476	4073,113	3922,830	OKE	6,00	6,00
A4	0,727	9	367,476	2404,033	1756,390	OKE	4,20	4,20
B1	0,710	12	367,476	3130,106	2949,970	OKE	6,00	4,20
B2	0,665	30	367,476	7336,002	6824,230	OKE	9,60	7,80
B3	0,665	30	367,476	7336,002	6208,790	OKE	9,60	7,80
B4	0,727	9	367,476	2404,033	2231,650	OKE	4,20	4,20
C1	0,710	12	367,476	3130,106	2842,200	OKE	6,00	4,20
C2	0,665	30	367,476	7336,002	6512,240	OKE	9,60	7,80
C3	0,665	30	367,476	7336,002	6666,870	OKE	9,60	7,80
C4	0,710	12	367,476	3130,106	2824,260	OKE	6,00	4,20
D1	0,761	6	367,476	1677,960	1337,760	OKE	4,20	2,40
D2	0,693	16	367,476	4073,113	3651,520	OKE	6,00	6,00
D3	0,683	20	367,476	5016,120	4268,810	OKE	7,80	6,00
D4	0,727	9	367,476	2404,033	2303,150	OKE	4,20	4,20
E3	0,795	4	367,476	1168,821	801,713	OKE	2,40	2,40
E4	0,795	4	367,476	1168,821	830,483	OKE	2,40	2,40

Dari Tabel 16. diketahui bahwa pada titik fondasi B2,B3,C2, dan C3 membutuhkan 30 titik tiang sehingga panjang blok fondasi 9,6 m dan lebar blok fondasi 7,8 m. Besarnya dimensi blok fondasi ini disebabkan karena daya dukung izin tiang bor yang kecil, daya dukung izin tiang bor kecil disebabkan karena daya dukung selimut tiang bor kecil sedangkan tanah sepanjang tiang dominan tergolong tanah lempung yang mana tahanan selimut tiang lebih dominan dibandingkan tahanan ujung tiang. Akibat terlalu besarnya dimensi blok fondasi maka untuk perencanaan tidak dapat menggunakan tiang bor.

Penurunan Tiang

Perkiraan penurunan kelompok tiang dilakukan dengan menghitung penurunan seketika (*short term*), untuk penurunan seketika pada tanah lempung dapat menggunakan metode penurunan pada tanah pasir, sehingga digunakan metode Vesic (1969) dan metode Mayerhof (1976).

Tabel 17. Penurunan elastis tiang kelompok pada *mini pile* dan *spun pile* berdasarkan metode Vesic (1977)

No	Penurunan Tiang Tunggal S_{pe}		Lebar Blok Fondasi B_d		Penurunan Kelompok Tiang S_{pd}	
-	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>
-	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(mm)	(mm)
A1	5,538	4,820	1,250	1,200	12,382	9,641
A2	6,297	5,481	2,250	2,100	18,891	14,502
A3	6,434	5,601	2,250	2,100	19,303	14,819
A4	5,762	5,015	1,250	1,200	12,883	10,631
B1	6,451	5,616	2,250	2,100	19,354	14,858
B2	6,716	4,677	3,250	3,900	24,214	16,863
B3	6,110	4,255	3,250	3,900	22,030	15,342
B4	4,980	4,248	2,250	2,100	14,641	11,240
C1	6,216	5,411	2,250	2,100	18,647	14,315
C2	6,409	4,463	3,250	3,900	23,107	16,092
C3	6,561	4,569	3,250	3,900	23,656	16,474
C4	6,176	5,377	2,250	2,100	18,529	14,225
D1	4,388	2,547	1,250	2,100	9,913	6,738
D2	5,989	5,214	2,250	2,100	17,968	13,794
D3	7,002	4,571	2,250	3,000	21,005	14,455
D4	7,555	4,385	1,250	2,100	16,894	11,600
E3	3,945	3,434	1,250	1,200	8,821	6,968
E4	4,086	3,557	1,250	1,200	9,138	7,114

Tabel 18. Penurunan elastis tiang kelompok pada *mini pile* dan *spun pile* berdasarkan metode Mayerhof (1976)

No	Beban struktur (Qsap)	Panjang Blok Fondasi L_d		Lebar Blok Fondasi B_d		Tahanan Ujung Kelompok Tiang q		Penurunan Kelompok Tiang S_{pd}	
-	-	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>
-	(kN)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(mm)	(mm)
A1	1688,086	2,250	2,100	1,250	1,200	680,875	680,875	15,338	16,773
A2	3839,110	3,250	3,000	2,250	2,100	525,006	609,380	15,972	17,501
A3	3922,830	3,250	3,000	2,250	2,100	536,455	622,671	16,330	18,301
A4	1756,390	2,250	2,100	1,250	1,200	624,484	696,980	14,161	17,452
B1	2949,970	2,250	2,100	2,250	2,100	582,710	688,927	17,728	19,600
B2	6824,230	4,250	3,900	3,250	3,900	494,082	448,067	18,065	17,971
B3	6208,790	4,250	3,900	3,250	3,900	448,505	408,204	16,455	16,350
B4	2231,650	2,250	2,100	2,250	2,100	440,820	506,043	13,411	14,873
C1	2842,200	2,250	2,100	2,250	2,100	561,422	644,490	17,080	18,942
C2	6512,240	4,250	3,900	3,250	3,900	471,474	428,155	17,239	17,149
C3	6666,870	4,250	3,900	3,250	3,900	462,689	438,321	17,648	17,556
C4	2842,200	2,250	2,100	2,250	2,100	557,879	640,422	16,972	18,823
D1	1337,760	2,250	2,100	1,250	2,100	475,648	303,347	10,786	10,048
D2	3651,520	3,250	3,000	2,250	2,100	490,353	579,606	15,192	17,035
D3	4268,810	3,250	3,000	2,250	3,000	583,769	474,312	17,760	16,662
D4	2303,150	2,250	2,100	1,250	2,100	810,988	522,256	18,049	15,390
E3	801,713	1,250	1,200	1,250	1,200	513,096	556,745	13,172	13,940
E4	830,483	1,250	1,200	1,250	1,200	531,509	576,724	13,583	14,440

Penurunan Konsolidasi

Tabel 19. Penurunan konsolidasi primer blok fondasi *mini pile*

No	Beban Q	Panjang blok fondasi L_g	Lebar blok fondasi B_g	L/B	Beban merata q	Δp	S_c
	ton	m	m	-	t/m ²	t/m ²	cm
A1	168,809	2,25	1,25	1,80	60,021	1,200	0,05338
A2	383,911	3,25	2,25	1,44	52,501	1,050	0,04684
A3	392,283	3,25	2,25	1,44	53,646	1,073	0,04783
A4	175,639	2,25	1,25	1,80	62,449	1,249	0,05548
B1	294,997	2,25	2,25	1,00	58,271	1,165	0,05186
B2	682,423	4,25	3,25	1,31	49,406	0,988	0,04413
B3	620,879	4,25	3,25	1,31	44,951	0,899	0,04023
B4	223,165	2,25	2,25	1,00	44,082	0,882	0,03947
C1	284,220	2,25	2,25	1,00	56,142	1,123	0,05001
C2	651,224	4,25	3,25	1,31	47,147	0,943	0,04216
C3	666,687	4,25	3,25	1,31	48,267	0,965	0,04314
C4	282,426	2,25	2,25	1,00	55,788	1,116	0,04970
D1	133,776	2,25	1,25	1,80	47,565	0,951	0,04252
D2	365,152	3,25	2,25	1,44	49,935	0,999	0,04460
D3	426,881	3,25	2,25	1,44	58,377	1,168	0,05195
D4	230,315	2,25	1,25	1,80	81,890	1,638	0,07216
E3	80,171	1,25	1,25	1,00	51,310	1,036	0,04680
E4	83,048	1,25	1,25	1,00	53,151	1,063	0,04740

Tabel 20. Penurunan konsolidasi primer blok fondasi *spun pile*

No	Beban	Panjang blok fondasi	Lebar blok fondasi	L/B	Beban merata	Δp	S_c
	Q	L_g	B_g		q		
	ton	m	m	-	t/m ²	t/m ²	cm
A1	168,809	2,10	1,20	1,75	66,988	1,340	0,059
A2	383,911	3,00	2,10	1,43	60,938	1,219	0,054
A3	392,283	3,00	2,10	1,43	62,267	1,245	0,055
A4	175,639	2,10	1,20	1,75	69,698	1,394	0,062
B1	294,997	2,10	1,00	1,00	66,893	1,338	0,059
B2	682,423	3,90	3,90	1,00	44,867	0,897	0,040
B3	620,879	3,90	3,90	1,00	40,820	0,816	0,037
B4	223,165	2,10	2,10	1,00	50,604	1,012	0,045
C1	284,220	2,10	2,10	1,00	64,449	1,289	0,057
C2	651,224	3,90	3,90	1,00	42,816	0,856	0,038
C3	666,687	3,90	3,90	1,00	43,832	0,877	0,039
C4	282,426	2,10	2,10	1,00	64,042	1,281	0,057
D1	133,776	2,10	2,10	1,00	30,335	0,607	0,027
D2	365,152	3,00	2,10	1,43	57,961	1,159	0,052
D3	426,881	3,00	3,00	1,00	47,431	0,949	0,042
D4	230,315	2,10	2,10	1,00	52,226	1,045	0,047
E3	80,171	1,20	1,20	1,00	55,675	1,113	0,050
E4	83,048	1,20	1,20	1,00	57,672	1,153	0,051

Tabel 21. Penurunan total blok fondasi *mini pile* dan *spun pile*

No	Penurunan seketika $S(e)_g$		Penurunan konsolidasi $S(c)_g$		Penurunan total S_g	
	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>	<i>Mini pile</i>	<i>Spun pile</i>
A1	1,534	1,677	5,338	5,940	6,871	7,617
A2	1,889	1,791	4,684	5,417	6,573	7,208
A3	1,930	1,830	4,783	5,532	6,714	7,362
A4	1,416	1,745	5,548	6,173	6,964	7,918
B1	1,935	1,966	5,186	5,932	7,121	7,898
B2	2,421	1,797	4,413	4,016	6,835	5,813
B3	2,203	1,635	4,023	3,660	6,226	5,295
B4	1,464	1,487	3,947	4,518	5,411	6,005
C1	1,865	1,894	5,001	5,721	6,866	7,615
C2	2,311	1,715	4,216	3,835	6,526	5,550
C3	2,366	1,756	4,314	3,925	6,679	5,680
C4	1,853	1,882	4,970	5,686	6,823	7,568
D1	1,079	1,005	4,252	2,732	5,331	3,737
D2	1,797	1,704	4,460	5,159	6,256	6,862
D3	2,100	1,666	5,195	4,240	7,295	5,907
D4	1,857	1,535	7,216	4,660	9,073	6,195
E3	1,311	1,394	4,580	4,960	5,891	6,354
E4	1,358	1,444	4,740	5,134	6,099	6,578

Dari Tabel 21 diketahui penurunan total yang terjadi masih dalam kategori aman karena penurunan yang terjadi lebih kecil dibandingkan penurunan izin, yang mana penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik pasal 9.2.4.3 bahwa penurunan izin < 15 cm + b/600 (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi.

- Menghitung waktu penurunan:
Untuk konsolidasi 90%, maka $T_{90} = 0,848$.

Maka waktu penurunan:

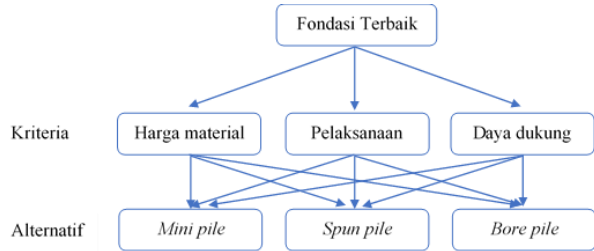
$$t_{90} = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v} = \frac{0,848 \cdot (1167 \text{ cm} / 2)^2}{1,38 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{dt}}$$

$$t_{90} = \frac{2,09 \times 10^7 \text{ dt}}{24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit} \times 60 \text{ detik}}$$

$$t_{90} = 242 \text{ hari}$$

Pemilihan Jenis Fondasi Terbaik

Pemilihan jenis fondasi terbaik dilakukan dengan membandingkan *mini pile*, *spun pile* dan *bore pile* menggunakan *analytical Hierarchy process* (AHP). Berikut skema pengambilan keputusan:



Gambar 10. Interpretasi Model *hierarchy* pemilihan keputusan

- Matriks perbandingan kriteria

Tabel 22. Matriks perbandingan kriteria

Kriteria	Harga Material	Pelaksanaan	Daya dukung	Nilai eigen		Jumlah	Rata-rata
Harga Material	1,00	2,00	0,25	0,182	0,286	0,167	0,634
Pelaksanaan	0,50	1,00	0,25	0,091	0,143	0,167	0,400
Daya dukung	4,00	4,00	1,00	0,727	0,571	0,667	1,965
Jumlah	5,50	7,00	1,50	Total rata-rata			1,000

Berdasarkan rata-rata nilai eigen maka kriteria dengan tingkat kepentingan tertinggi hingga terendah yaitu daya dukung, harga material dan terakhir pelaksanaan. Hal ini menunjukkan bahwa dalam pengambilan keputusan maka daya dukung lebih penting dibandingkan harga material dan kemudahan pelaksanaan.

- Matriks perbandingan alternatif

Tabel 23. Matriks perbandingan kriteria harga material terhadap alternatif

Harga Material	Mini pile	Spun pile	Bore pile	Nilai eigen			Jumlah	Rata-rata
Mini pile	1,00	3,00	0,33	0,231	0,375	0,211	0,816	0,272
Spun pile	0,33	1,00	0,25	0,077	0,125	0,158	0,360	0,120
Bore pile	3,00	4,00	1,00	0,692	0,500	0,632	1,824	0,608
Jumlah	4,33	8,00	1,58	Total rata-rata			1,000	

Berdasarkan rata-rata nilai eigen maka alternatif terbaik berdasarkan harga material yaitu *bore pile*, selanjutnya *mini pile* kemudian *spun pile*. Hal ini menunjukan bahwa berdasarkan harga material maka *spun pile* yang paling mahal dan tiang bor yang paling murah.

Tabel 24. Matriks perbandingan kriteria pelaksanaan terhadap alternatif

Pelaksanaan	Mini pile	Spun pile	Bore pile	Nilai eigen			Jumlah	Rata-rata
Mini pile	1,00	0,50	5,00	0,313	0,300	0,417	1,029	0,343
Spun pile	2,00	1,00	6,00	0,625	0,600	0,500	1,725	0,575
Bore pile	0,20	0,17	1,00	0,063	0,100	0,083	0,246	0,082
Jumlah	3,20	1,67	12,00	Total rata-rata			1,000	

Berdasarkan rata-rata nilai eigen maka alternatif terbaik berdasarkan pelaksanaan yaitu *spun pile*, selanjutnya *mini pile* kemudian *bore pile*.

Tabel 25. Matriks perbandingan kriteria daya dukung terhadap alternatif

Daya dukung	Mini pile	Spun pile	Bor pile	Nilai eigen			Jumlah	Rata-rata
Mini pile	1,00	2,00	7,00	0,609	0,632	0,500	1,740	0,580
Spun pile	0,50	1,00	6,00	0,304	0,316	0,429	1,049	0,350
Bor pile	0,14	0,17	1,00	0,087	0,053	0,071	0,211	0,070
Jumlah	1,64	3,17	14,00	Total rata-rata			1,000	

Berdasarkan rata-rata nilai eigen maka alternatif terbaik berdasarkan daya dukung yaitu *mini pile*, selanjutnya *spun pile* kemudian *bore pile*. Hal ini berdasarkan dari perhitungan yang telah dilakukan bahwa *mini pile* ukuran 25 cm x 25 cm memiliki

daya dukung ultimit yang lebih besar dibandingkan *spun pile* dengan diameter 30 cm, meskipun daya dukung dari kedua tiang tersebut tidak berbeda jauh, dan *bore pile* memiliki daya dukung yang paling rendah dibandingkan *mini pile* dan *spun pile* meskipun dengan diameter 60 cm.

Tabel 26. Hasil akhir perbandingan jenis fondasi terbaik

Hasil akhir perbandingan	
<i>Mini pile</i>	0,483
<i>spun pile</i>	0,331
<i>bor pile</i>	0,186
Total	1,000

Dari Tabel 22 dan Tabel 26 dapat diketahui bahwa *mini pile* merupakan alternatif terbaik, dan daya dukung merupakan faktor terpenting dalam pengambilan keputusan

IV. PENUTUP

Kesimpulan

1. Daya dukung izin (Q_{all}) terkecil tiang pada kedalaman pemancangan 18 m, analisa menggunakan data CPT diperoleh berdasarkan metode Schmertmann-Nottingham (1975) yaitu untuk daya dukung izin *mini pile* sebesar 375,418 kN dan daya dukung izin *spun pile* 381,734 kN, sedangkan analisa menggunakan data SPT diperoleh berdasarkan metode Schmertmann (1967) yang mana daya dukung izin *mini pile* sebesar 180,400 kN dan daya dukung izin *spun pile* sebesar 185,103 kN, sehingga untuk perencanaan tiang pancang pada kedalaman 18 m digunakan daya dukung izin berdasarkan analisa menggunakan data SPT.
2. Daya dukung izin (Q_{all}) terkecil tiang pancang pada kedalaman pemancangan 30 m berdasarkan data SPT diperoleh berdasarkan metode Schmertmann (1967) yang mana diperoleh daya dukung izin *mini pile* sebesar 490,767 kN dan daya dukung izin *spun pile* sebesar 477,616 kN, sedangkan untuk daya dukung izin *bore pile* terkecil diperoleh berdasarkan metode Aoki dan Velloso (1975) yaitu sebesar 367,476 kN.
3. Daya dukung ultimit *mini pile* dengan dimensi 25 cm x 25 cm lebih besar dibandingkan daya dukung ultimit *spun pile* diameter 30 cm, hal ini disebabkan karena *mini pile* memiliki luas selimut tiang yang lebih besar dibandingkan *spun pile* sehingga daya dukung selimut *mini pile* lebih besar, namun daya dukung ujung *mini pile* lebih kecil dibandingkan *spun pile* karena luas penampang *spun pile* lebih besar daripada *mini pile*.
4. Berdasarkan *analytical Hierarchy process* (AHP) diperoleh bahwa fondasi terbaik yaitu *mini pile*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers. 2010. *Minimum design loads for buildings and Other Structures*. United States of America. Structural Engineering Institute
- A.N, Mahendra Cipta. 2010. *Analisa Studi Penggunaan AHP Pada Pengambilan Keputusan Pemilihan Jenis Sub Struktur Pada Proyek Konstruksi*. April 12, 2019. <http://konteks.id/p/04-064.pdf>
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. SNI 2827:2008 *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI 8460:2017 *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta.
- Bowles, Joseph E. 1991. *Analisis dan Desain Pondasi*. Edisi keempat jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation engineering*. Seventh edition. Global Engineering.
- Hadary, F., dkk. 2009. *Teknik Penulisan Skripsi*. Edisi ke-1. Pontianak: Fakultas Teknik Untan.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Analisis dan Perancangan Pondasi II*. Edisi kedua. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hs, Sardjono. 1991. *Pondasi Tiang Pancang*. Surabaya: Sinar Wijaya.
- Luthfiani, Fachridia. 2017. *Analisis Penurunan Bangunan Pondasi Tiang Pancang dan Rakit Pada Proyek Pembangunan Apartemen Surabaya Central Business District*, Vol.6 (2), hal 166-179. Februari 9, 2019. <https://media.neliti.com/media/publications/188163-ID-analisis-penurunan-bangunan-pondasi-tian.pdf>
- Mayangsari. 2018. *Analisis Perbandingan Pondasi Tiang Pancang Dengan Pondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Rumah Rumah Sakit Gigi Dan Mulut Universitas Brawijaya*. April 7, 2019. Universitas Brawijaya. <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/download/733/669>
- Rahardjo, Paulus P. 2013. *Manual Pondasi Tiang 4th ed*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Salgado, Rodrigo. 2008. *The engineering of Foundation*. Boston: McGraw.Hill.
- Widyastuti, Fatma. 2015. *Analisis Perbandingan Pondasi Tiang Pancang (Spun Pile) Dan Pondasi Bore Pile Dengan Mutu Sama Dari Segi Metode Kerja, Durasi, Dan Biaya Pada Jembatan Sumber Waru Proyek Tol Surabaya-Mojokerto Seksi IV*. April 7, 2019. Universitas Gadjah Mada. http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku_id=85366&obyek_id=4