

PERENCANAAN ULANG FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK RUSUNAWA GUNUNG ANYAR SURABAYA

M. Naufal Hilmy Wirawan¹, Dandung Novianto², Moch. Sholeh³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: naufalhilmywirawan@gmail.com¹, dandung.novianto@polinema.ac.id², moch.sholeh@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Gedung Rusunawa Gunung Anyar Surabaya memiliki 6 lantai, untuk fondasi di pancang menggunakan berdiameter 40 cm dengan kedalaman fondasi 29 meter yang berjumlah 200 buah. Pada lokasi proyek rusun terdapat beberapa jumlah kelompok tiang mulai dari 2 – 4 tiang. Penulis disini akan merencanakan ulang diameter tiang dan panjang tiang untuk seluruh struktur bawah yang dilihat dari segi kekuatan, keamanan dari setiap tiang pancang dan juga efisiensi dari tiang pancang itu sendiri. Analisa ini dilakukan dengan pengumpulan data sekunder untuk dilakukan analisa perbandingan meliputi daya dukung fondasi, penurunan pada fondasi, perencanaan dimensi, metode pelaksanaan, dan perbandingan biaya fondasi. Dari data N-SPT direncanakan untuk seluruh tiang pancang menggunakan diameter 50 cm dengan panjang tiang 25 m dengan total tiang 190 buah. Dari perhitungan *Robot Structural Analysis Program (RSAP)* nilai Q_v yang paling besar adalah 220,66 ton dengan nilai Q_g sebesar 478,89 ton. Dari hasil analisa biaya untuk tiang pancang berdiameter 50 cm adalah Rp 3,501,633,333.59.

Kata kunci : N-SPT; daya dukung; penurunan; metode pelaksanaan; RAB

ABSTRACT

The Rusunawa Gunung Anyar Surabaya building has 6 floors, for the foundation, the piles are 40 cm in diameter with a foundation depth of 29 meters totaling 200 pieces. At the flat project location, there are several groups of piles ranging from 2-4 poles. The author here will re-plan the pile diameter and pile length for the entire substructure in terms of the strength, safety of each pile and also the efficiency of the pile itself. This analysis is carried out by collecting secondary data for comparative analysis including bearing capacity of the foundation, settlement of the foundation, planning dimensions, implementation methods, and comparison of foundation costs. From the N-SPT data, it is planned for all piles to use a diameter of 50 cm with a pile length of 25 m with a total of 190 piles. From the calculation of the Robot Structural Analysis Program (RSAP) the largest Q_v value is 220,65749 tons with a Q_g value of 478,888 tons. From the results of the cost analysis for piles with a diameter of 50 cm is Rp 3,501,633,333.59.

Keywords : N-SPT; bearing capacity; settlement; implementation method; budget plan

1. PENDAHULUAN

Fondasi adalah bagian penting dari suatu bangunan yang letaknya berada di bawah tanah, peran fondasi sangatlah penting oleh karena itu pondasi harus bisa menjamin kestabilan dari bangunan yang ditopangnya. Tak hanya itu, fondasi juga harus bisa menjamin gaya-gaya dari luar seperti beban angin, dan beban gempa. Dari seluruh beban tersebut akan di salurkan oleh fondasi ke tanah. Fondasi tiang pancang adalah fondasi tiang beton pracetak yang

pelaksanaannya dengan cara dipukul atau ditekan kedalam tanah sampai kedalam yang di inginkan.

Rusunawa Gunung Anyar merupakan salah satu dari beberapa rusunawa yang ada di Kota Surabaya. Rusunawa ini berlokasi di Jalan Wiguna Tengah XVI, Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur. Gedung Rusunawa Gunung Anyar Surabaya memiliki 6 lantai di setiap lantai memiliki luasan yang sama yaitu 1151 m² dengan tebal plat 15 cm, untuk fondasi di rancang menggunakan fondasi tiang pancang yang

berdiameter 40 cm dengan kedalaman fondasi 29 m yang berjumlah 200 buah. Pada lokasi proyek rusun terdapat beberapa jumlah kelompok tiang mulai dari 2 – 4 tiang.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini meliputi:

1. Menghitung beban struktur atas gedung Rusunawa Gunung Anyar dengan menggunakan software aplikasi *Robot Structural Analysis Program* (RSAP).
2. Mengetahui daya dukung fondasi tiang pancang gedung Rusunawa Gunung Anyar.
3. Mengetahui penurunan fondasi tiang pancang gedung Rusunawa Gunung Anyar.
4. Mengetahui metode pelaksanaan fondasi tiang pancang gedung Rusunawa Gunung Anyar.
5. Mengetahui anggaran biaya yang harus digunakan untuk fondasi tiang pancang gedung Rusunawa Gunung Anyar.
6. Dapat mengetahui perbedaan jumlah tiang setelah di modifikasi dari segi dimensi tiang.

2. METODE

Berikut merupakan tahapan dalam perencanaan fondasi tiang pancang yang akan dilakukan, meliputi:

1) Persiapan

Penelitian diawali dengan mencari segala informasi mengenai data yang diperlukan untuk perencanaan ulang fondasi tiang pancang, serta mempelajari segala sitasi yang dibutuhkan dalam penelitian ini seperti buku, jurnal, maupun peraturan konstruksi yang berlaku.

2) Data

- a. Data Umum Proyek
- b. Gambar Perencanaan
- c. Data Pengujian SPT
- d. HSPK Kota Surabaya Tahun 2021

3) Pengolahan Data

- a. Pembebanan Struktur Bangunan
Perhitungan beban dilakukan untuk mengetahui berapa total beban yang di topang oleh fondasi.
 - Perhitungan beban struktur atas/utama menggunakan software RSAP
 - Perhitungan beban kombinasi ASD (*Allowable Stress Design*) dan LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) berdasarkan SNI 2847-2013
 - Perhitungan beban gempa menggunakan SNI-03-1726-2019
 - Perhitungan beban angin menggunakan SNI 1727-2020

b. Perencanaan Tiang Fondasi

Analisa data SPT (*Standard Penetration Test*) agar diperoleh nilai daya dukung tanah, kebutuhan tiang hingga penurunan yang terjadi. Dilanjutkan merencanakan pondasi tiang pancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban yang dihitung sebelumnya menggunakan metode *Meyerhoff*.

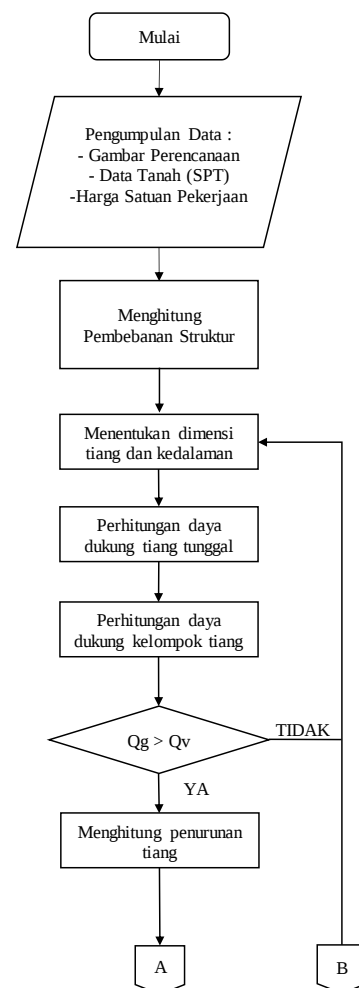
c. Metode Pelaksanaan Tiang Pancang

Metode pelaksanaan hanya ditinjau di pekerjaan fondasi saja. Fondasi tiang pancang menggunakan alat *Hydraulic Static Piling Driver* karena alat ini minim getaran saat proses pemancangan.

d. Rencana Anggaran Biaya

Menentukan harga satuan pekerjaan, volume pekerjaan fondasi berdasarkan hasil perencanaan, anggaran biaya, serta meninjau alat yang digunakan sesuai metode pelaksanaan yang digunakan untuk fondasi.

Tahapan Pelaksanaan Penelitian





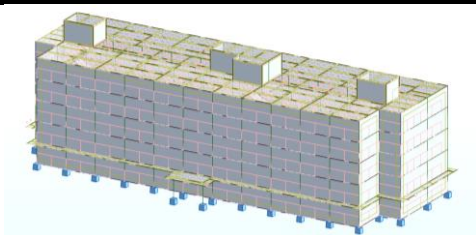
Data Tanah

No		0	20	40	60	N
0						
0.5						
1	Lempung Berlanau					0
1.5	Abu- Abu					
2						
2.5						
3						
3.5						
4						
4.5						
5						
5.5						
6	Pasir Berlanau					1
6.5	Berpasir abu-abu					
7						
7.5						
8						
8.5						
9						
9.5						
10						
10.5	Lanau Berlempung					
11	Berpasir Abu-abu					2
11.5						
12						
12.5						
13						
13.5						3
14						
14.5						
15						
15.5						
16	Lempung Berlanau					5
16.5	Berpasir Abu- Abu					
17						
17.5						
18						
18.5						4
19						
19.5						
20						
20.5						
21						5
21.5						
22						
22.5						
23						
23.5						12
24						
24.5						
25	Lempung Berlanau					
25.5	Berpasir Coklat					23
26						
26.5						
27						
27.5						
28						
28.5						38
29						
29.5						
30						41

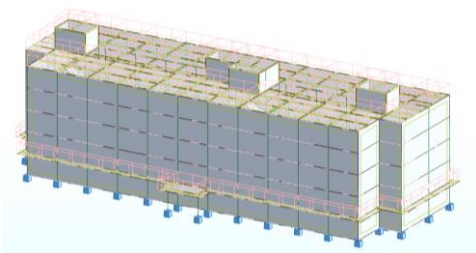
- Beban hidup pada plat : 250 Kg/m^2
- Beban hidup pada atap : 100 Kg/m^2

1. Beban Atap Dak Beton Rusunawa
 - Beban Mati = 330.00 Kg/m²
 - Beban Hidup = 100.00 Kg/m²
2. Beban Plat Lantai Rusunawa
 - Beban Mati = 389.00 Kg/m²
 - Beban Hidup = 250.00 Kg/m²
3. Beban Balok pada Rusunawa
 - Beban Mati = 876.00 Kg/m²
4. Input Beban Mati dan Beban Hidup





Gambar 5. Beban Hidup pada Plat Lantai



Gambar 6. Beban Hidup pada Dak Atap

B. Beban Air Hujan Rencana

Menggunakan ketentuan SNI-1727-2013 sebagai berikut:

$$R = 0,0098 \times (ds + dh)$$

ds = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup.

dh = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana.

Direncanakan

$$ds = 30 \text{ mm}$$

$$dh = 20 \text{ mm}$$

Sehingga:

$$R = 0,0098 \times (ds + dh)$$

$$= 0,0098 \times (30 + 20)$$

$$= 0,49 \text{ kN/m}^2$$

C. Beban Angin

Pada SNI 1727-2020 Pasal 28.3.4 menyatakan bahwa beban angin rencana tidak boleh lebih kecil dari beban angin minimum sebesar $0,77 \text{ kN/m}^2$. maka beban angin yang dipakai adalah $0,77 \text{ kN/m}^2$, dikarenakan pada perhitungan beban angin diatas lebih kecil dari $0,77 \text{ kN/m}^2$, kemudian $0,77 \text{ kN/m}^2$ tersebut dikalikan dengan luas dinding pada permukaan bangunan gedung tersebut.

D. Beban Gempa

Didapatkan dalam perhitungan analisa menggunakan RSAP (*Robot Structural Analysis Profesional*) untuk kombinasi D + 0,3L sebesar $W_t = 9351.670 \text{ ton}$.

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0,1276 \times 9351.670$$

$$= 1193.273 \text{ ton}$$

Analisis Perhitungan Dimensi Tiang Pancang

A. Perhitungan Daya Dukung

$$\begin{aligned} \text{Daya Dukung Ultimate } (Q_u) &= Q_p + Q_s \\ &= 19,80 + 201,525 \\ &= 221,325 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Dukung Izin } (Q_{all}) &= Q_u / 3 \\ &= 221,325 / 3 \\ &= 73,77 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah tabel kedalaman fondasi dan nilai dari daya dukung fondasi pancang:

Tabel 1. Dimensi Tiang Pancang dan Daya Dukung Tiap Jenis Fondasi

No	Panjang	Dimensi Tiang			Qp	Qs	Qult	Qall
		D	Ap	As				
		m	m ²	m	ton	ton	ton	ton
P1	25.00	0,5	0,196	1,57	19,80	201,52	221,32	73,77
P2	25.00	0,5	0,196	1,57	19,80	201,52	221,32	73,77
P3	25.00	0,5	0,196	1,57	19,80	201,52	221,32	73,77

Sumber: Hasil Analisis

B. Kapasitas Daya Dukung Kelompok Fondasi

Jumlah tiang yang dibutuhkan dalam satu kelompok tiang pancang dengan asumsi diameter tiang 0.5 m:

$$\begin{aligned} n &= \frac{Q_v}{Q_{all}} \\ &= \frac{160,193}{73,163} \\ &= 2,22 \text{ tiang (maka tiang yang digunakan adalah 3)} \end{aligned}$$

Kelompok tiang aksi individu:

$$\begin{aligned} Q_g &= n' \times m \times (9 A_p c_u + \sum \alpha p c_u \Delta L) \\ &= n' \times m \times (Q_p + Q_s) \\ &= 2 \times 3 \times (19,800 + 201,52) = 1327,950 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kelompok tiang aksi blok kesatuan:

$$\begin{aligned} Q_g &= L_g B_g C_u N_c + \sum 2 (L_g + B_g) C_u \Delta L \\ &= (1,750 \times 1,583 \times 11,21 \times 9) + 685,16 \\ &= 964,65 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kelompok Tiang Aksi Blok Kesatuan

P1				
ΔL	Cu	Lg	Bg	$2(L_g + B_g) C_u \Delta L$
4.5	0,46	1,750	1,583	13,79
5	0,53	1,750	1,583	17,66
5	3,84	1,750	1,583	127,98
5	4,74	1,750	1,583	157,98
5	7,67	1,750	1,583	255,64

P1				
ΔL	Cu	Lg	Bg	$2(Lg+Bg) Cu \Delta L$
1.5	11,21	1,750	1,583	112,08
TOTAL				685,16

$$Q_{g_{all}} = \frac{Qg}{SF}$$

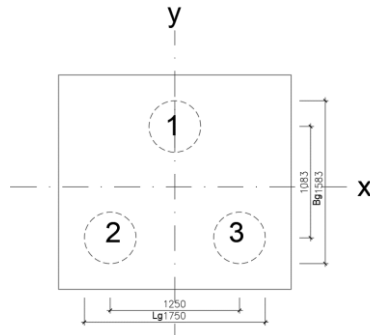
$$= \frac{964,65}{3} = 321,55 \text{ ton}$$

Kontrol nilai Qg dengan Q_v , $Qg > Q_v$, maka:

$$321,55 > 160,193 \text{ OK}$$

Distribusi beban pada tiang pancang

$$Q_p = \frac{Q_v}{n} + \frac{Myx}{m \sum (x^2)} + \frac{Mxy}{n' \sum (y^2)}$$



Gambar 7. Skema Peletakan Tiang Pancang

Tabel 3. Koordinat Letak Tiang

x	y	x ²	y ²
0.000	0.541	0.000	0.293
-0.541	-0.625	0.293	0.391
0.541	-0.625	0.293	0.391
Σ		0.585	1.074

$$Q_v = 160,193 \text{ ton}$$

$$Q_{all} = 76,999 \text{ ton}$$

$$M_y = 5,785 \text{ ton}$$

$$M_x = 13,681 \text{ ton}$$

$$n = 3$$

$$m = 3$$

$$n' = 2$$

$$Q_{p_{total}} = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3}$$

$$= 56,844 + 47,634 + 51,199$$

$$= 155,677 \text{ ton}$$

$$Q_{all_{total}} = 169,00 + 169,00 + 169,00$$

$$= 507,00 \text{ ton}$$

Sehingga, $Q_{p_{total}} > Q_{all_{total}} \text{ OK}$

C. Penurunan Kelompok Tiang Pancang

Total penurunan konsolidasi dan penurunan elastik

$$S_g \text{ total} = S_g \text{ Elastik} + S_g \text{ Konsolidasi}$$

$$= 29,58 \text{ mm} + 25 \text{ mm}$$

$$S_g \text{ total} < S_g \text{ Ijin} \rightarrow 54,575 \text{ mm} < 150 \text{ mm OK}$$

Penulangan Pile Cap Tiang Pancang

Data perencanaan Pile Cap tipe PC 1:

- Dimensi Kolom = 40 mm x 50 mm
- Dimensi tiang = 500 mm
- Jumlah tiang = 3 buah
- Jarak antar tiang = 1250 mm
- Beban Berfaktor (F_z) = 200.700 ton
- Dimensi Pile Cap = 2250 mm x 2250 mm
- Selimut beton (d) = 75 mm
- Tebal Pile Cap (h) = 900 mm
- Tebal efektif (d) = 825 mm
- α_s = 40 (Posisi kolom di tengah pile cap)
- F_c = 30 MPa
- F_y = 420 MPa

A. Tinjauan Geser 1 Arah

- Geser satu arah X

$$V_u = \sigma_{LG}' = 39,645 \times 2250 \times 100 = 8.92$$

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} x \sqrt{f_c} x b x d$$

$$= 0.75 x \frac{1}{6} x \sqrt{30} x 2250 x 825$$

$$= 1271 \text{ Kn} = 129.63 \text{ ton}$$

Kontrol geser satu arah:

$$\phi V_c > V_u$$

$$129.63 > 8.92 \text{ (ton) OK}$$

- Geser satu arah Y

$$V_u = \sigma_{LG}' = 39,645 \times 2250 \times 50 = 4.46 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} x \sqrt{f_c} x b x d$$

$$= 0.75 x \frac{1}{6} x \sqrt{30} x 2250 x 825$$

$$= 1271 \text{ Kn} = 129.63 \text{ ton}$$

Kontrol geser satu arah:

$$\phi V_c > V_u$$

$$129.63 > 4.46 \text{ (ton) OK}$$

B. Tinjauan Geser 2 Arah

Kontrol kuat geser:

$$\phi V_c > V_u$$

$$581.78 > 200.70 \text{ (ton) OK}$$

C. Penulangan Pile Cap

- Perhitungan tulangan lentur untuk arah X

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} x b x d$$

$$= 0.0005247758 \times 2250 \times 825 = 974.12$$

$$A_{s_{pasang}} = n x \frac{1}{4} x \pi x d^2$$

$$= 12 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 826^2 = 3402.345 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$974.12 < 3402.345 \quad \text{OK}$$

- Perhitungan tulangan lentur untuk arah Y

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d$$

$$= 0.0002271418 \times 2250 \times 825 = 421.63$$

$$A_{s\text{pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 12 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 826^2 = 3402.345 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$421.63 < 3402.345 \quad \text{OK}$$

Metode Pelaksanaan Pekerjaan Fondasi

A. Data Teknis

Tipe Fondasi : Pancang

Dimensi tiang : 0,8 m

Dimensi Pilecap : 2.250 x 2.250

Mutu Beton

- Pilecap : 30 MPa

- Tiang Pancang : 52 Mpa

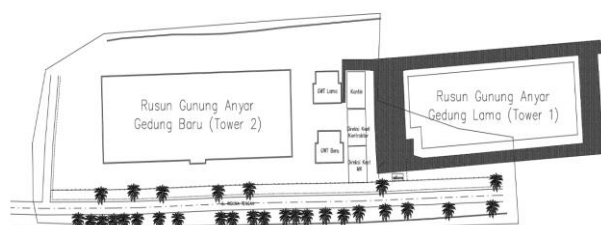
Mutu Tulangan : 420 MPa

Kedalaman tiang : 26 m

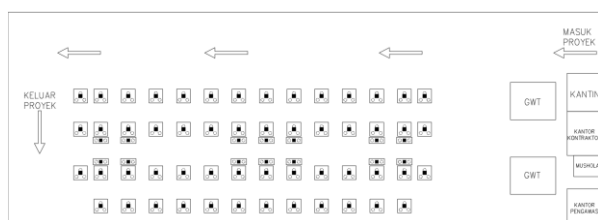
Jumlah titik bor : 190 titik

Alat : Hydraulic Static Pile Driver

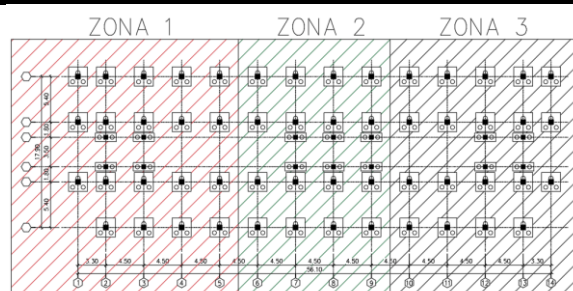
B. Perencanaan Strategi



Gambar 8. Site Plan Proyek Pembangunan Rusunawa Gunung Anyar Surabaya



Gambar 9. Jalur Alat Berat dan Perletakan Area Proyek



Gambar 10. Blok Pembagian Area Pekerjaan

Secara garis besar strategi pelaksanaan pondasi Jack in Pile dilaksanakan dengan membagi area pekerjaan menjadi 3 zona untuk memudahkan pelaksanaan dari setiap item pekerjaan. Strategi pelaksanaan yang digunakan yaitu pelaksanaan pekerjaan pengeboran menggunakan 1 mesin Hydraulic Static Pile Driver, pemancangan pondasi dimulai dari blok massa 1 kemudian berlanjut ke blok massa 2 dan blok massa 3. Setelah blok massa 1 selesai pemancangan dilakukan pengetesan terhadap pondasi tiang dan apabila telah memenuhi syarat aman maka dilanjutkan pada pekerjaan pilecap, hal demikian juga dilakukan pada blok massa 2 dan 3.

C. Metode Pelaksanaan Pondasi Jack in Pile

1. Pekerjaan Persiapan

Sebelum pekerjaan pemancangan dilakukan perlu dipersiapkan pembersihan lokasi pekerjaan, pembuatan akses jalan untuk dilalui alat berat, serta survey penentuan titik tiang berdasarkan data koordinat titik tiang dari *shop drawing*.

2. Pekerjaan Pemancangan

Pemancangan dilakukan dilakukan pengecekan terhadap kondisi tiang pancang yang telah dipesan untuk memastikan kualitas tiang pancang. Tiang pancang yang digunakan berdiameter 50 cm, karena panjang tiang 25 m maka digunakan tiang pancang dengan ukuran 13 m dan 13 m yang disambung dengan las.

3. Pekerjaan Pile Cap

Pekerjaan *pile cap* dilakukan setelah tiang pancang telah telah memenuhi kategori aman dari loading test, pengetesan dilakukan pada titik-titik tertentu yang mewakili.

Rencana Anggaran Biaya

Dengan luas lahan 1002m², jumlah *pile cap* 68 buah dan titik taing pancang sebanyak 190 dengan kedalaman setiap titik 25 m dibutuhkan tiang pancang 2 buah dengan panjang masing-masing tiang 13 m. Berdasarkan Analisa Harga Satuan Pekerjaan dan Volume Pekerjaan, maka dapat

dilakukan perhitungan untuk rencana anggaran biaya pekerjaan fondasi tiang pancang dan *pile cap*.

Dari hasil perhitungan rencana anggaran biaya untuk Modifikasi Fondasi Pada Proyek Pembangunan Rusunawa Gunung Anyar Surabaya adalah sebesar Rp 3,501,633,333.59 (Tiga Milyar Lima Ratus Satu Juta Enam Ratus Tiga Puluh Tiga Ribu Tiga Ratus Tiga Puluh Tiga Lima Puluh Sembilan Rupiah). Harga ini merupakan hasil dari modifikasi fondasi pada proyek tersebut dengan merubah dimensi tiang pancang dan pile cap secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan mengenai perhitungan yang telah dibahas sebelumnya, maka dapat disimpulkan:

1. Beban terbesar pada Proyek Rusunawa Gunung Anyar Surabaya untuk perhitungan tiang pancang menggunakan beban ASD yaitu sebesar 220,65 ton.
2. Fondasi pada kelompok tiang bagian dalam, didapatkan nilai daya ujung tiang pancang (Q_p) sebesar 19,80 ton, sedangkan gaya dukung untuk selimut tiang (Q_s) sebesar 201,525 ton, kemudian daya dukung ultimate (Q_{ult}) sebesar 221,325 ton, dengan jumlah tiang sebanyak 3 buah dengan diameter tiang sebesar 0.5 meter dan panjang tiang 25 meter.
3. Dari hasil perhitungan penurunan P1 diperoleh nilai penurunan elastik (S_e) = 29,58 mm dan penurunan konsolidasi (S_c) = 24, 15 mm sehingga penurunan total (S_{total}) = 53,726 mm, P2 diperoleh nilai penurunan elastik sebesar (S_e) = 29,58 mm dan penurunan konsolidasi sebesar (S_c) = 30,29 mm sehingga penurunan total 59,867 mm P3 diperoleh nilai penurunan elastik sebesar (S_e) = 12,26 mm dan penurunan konsolidasi sebesar (S_c) = 24,37 mm sehingga penurunan total untuk P1 ($S_{g_{total}}$) = 53,726 mm sehingga penurunan total memenuhi peraturan SNI 8460-2017 sebesar kurang dari 150 mm ntuk bangunan tinggi.
4. Metode pelaksanaan *jack in pile* menggunakan metode pembagian area menjadi 3 zona. Pekerjaan dilaksanakan berurutan mulai dari zona 1, 2, dan 3. Pada fondasi jack in pile digunakan mesin hydraulic pile driver sebagai alat pemancangan tiang.
5. Dari keseluruhan perhitungan diatas biaya yang harus dikeluarkan untuk modifikasi sebesar Rp 3,501,633,333.59 (diameter tiang 50 cm dan panjang tiang 25 meter).
6. Pada eksiting diameter tiang pancang adalah 40 cm, kedalaman 29 m, dengan 200 titik tiang. Untuk hasil dari modifikasi didapatkan tiang pancang dengan diameter 50 cm dengan panjang tiang 25 m yang berjumlah 190 titik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, "SNI-1727-2020 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung." Badan Stadard Nasional, 2020.
- [2] Das, B.M., & Sivakugan, N, "Principles of Foundation Engineering" Cengage Learning, 2019.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum, "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983)." Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.
- [4] Hary Cristandy Hardiyatmo, "Analisis dan Perancangan Fondasi Jilid 2." Gadjah Mada University Press. Yogyakarta, 2011.