

ANALISIS VARIASI DESAIN PENAMPANG FONDASI DALAM TERHADAP EFISIENSI PELAKSANAAN (STUDI KASUS: GEDUNG POLIKLINIK RSUP PROF. DR. I.G.N.G. NGOERAH)

I Made Aryatirta Predana*, Made Dodiek Wirya Ardana, dan I Gede Yogi Gangga Purnawardana

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,
Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Badung, Bali
e-mail: aryatirta@unud.ac.id

ABSTRAK

Pada konstruksi bangunan, fondasi memiliki peran penting dalam menahan dan meneruskan beban struktur di atasnya ke tanah dengan daya dukung yang memadai. Namun, perencanaan fondasi yang baik tidak hanya mempertimbangkan daya dukung, tetapi juga aspek efisiensi metode pelaksanaannya. Pada kenyataannya, faktor efisiensi ini sering terabaikan dalam praktik lapangan, mengakibatkan perencanaan yang tidak optimal. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan analisis alternatif desain fondasi untuk dibandingkan dengan desain fondasi eksisting, baik dari segi keamanan maupun efisiensi pelaksanaannya. Studi ini dilakukan di Proyek Pembangunan Gedung Poliklinik RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah yang merupakan bangunan dengan struktur beton bertulang dengan lima lantai utama dan satu lantai basemen. Metode pelaksanaan instalasi tiang dibandingkan antara menggunakan *hydraulic jack-in* dan *drop hammer*. Hasil desain menunjukkan bahwa tipe fondasi eksisting (PE12 400) memiliki daya dukung tiang kelompok yang tinggi sebesar 9201,08 kN, namun memerlukan waktu instalasi tiang selama 37,25 menit dan produktivitas sebesar 3,74 m/menit. Dari berbagai alternatif, fondasi persegi tipe PP6 500 mampu menahan beban aksial dan lateral dengan memiliki daya dukung aksial sebesar 7262,27 kN dan lateral sebesar 1023,48 kN. Selain itu, fondasi tipe ini memerlukan waktu instalasi tiang selama 19,25 menit dan produktivitas 3,74 m/menit. Hal ini menjadikan fondasi persegi tipe PP6 500 sebagai alternatif terbaik untuk pemilihan tipe fondasi pada studi kasus ini.

Kata kunci: fondasi tiang, penampang, daya dukung, metode pelaksanaan, efisiensi

1. PENDAHULUAN

Fondasi sebagai struktur bawah berfungsi untuk menanggung dan menyalurkan beban yang diakibatkan beratnya sendiri maupun beban bangunan yang ada di atasnya ke dalam tanah. Dalam penerapannya, ada dua macam fondasi yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal dapat digunakan apabila kedalaman tanah keras tidak terlalu jauh dari permukaan tanah. Sedangkan fondasi dalam digunakan apabila tanah yang ada di bawah bangunan tidak memiliki kapasitas yang cukup guna menanggung beban beratnya sendiri dan bangunan di atasnya, atau tanah keras yang memiliki daya dukung yang mampu memikul beban letaknya cukup dalam.

Pemilihan jenis fondasi dalam pada proyek pembangunan gedung poliklinik RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah di Denpasar didasarkan pada beberapa faktor, seperti lokasi proyek, kondisi geografis dan tanah pada lokasi, fungsi bangunan, jumlah tingkat gedung, beban yang bekerja, dan kemudahan pelaksanaan di lapangan. Gedung ini memiliki desain struktur beton bertulang yang terdiri dari lima lantai utama yang digunakan sebagai pelayanan kesehatan dan satu lantai basemen yang digunakan sebagai parkir untuk kendaraan roda dua. Selain mempertimbangkan bahwa gedung ini merupakan fasilitas kesehatan yang sangat vital bagi masyarakat, perencanaan dan pembuatan struktur bawah harus dilakukan secara hati-hati. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur pada gedung tersebut. Kondisi tanah yang ada di bawah gedung ini berjenis lempung berpasir dan memiliki kapasitas daya dukung tanah yang tidak terlalu tinggi. Oleh karena itu, dipilihlah jenis fondasi dalam, yaitu fondasi tiang, yang akan menyalurkan tegangan yang ditimbulkan oleh beban struktur atas ke dalam lapisan tanah keras yang mampu menopang gedung beserta bebannya. Dalam proses pemilihan fondasi tiang, dibutuhkan analisis dan perancangan untuk mengetahui daya dukung dari setiap jenis fondasi. Adapun variasi penampang yang akan dianalisis dan dibandingkan efisiensi pelaksanaannya dengan desain eksisting yakni penampang persegi, lingkaran dan segitiga.

2. KAJIAN PUSTAKA

Daya Dukung Fondasi Dalam (Tiang)

Menurut Bowles (1997), fondasi dalam meliputi tiang pancang, tembok atau tiang yang dibor, serta kaisan yang dibor hingga kedalaman $D/B \geq 4$. Daya dukung dari fondasi tiang dapat diestimasi dengan memanfaatkan nilai SPT yang diperoleh dari pengujian tanah di lokasi proyek. Untuk menghitung kapasitas tiang berdasarkan nilai SPT, digunakan persamaan (1) dan (2) berikut ini (Das, 2016).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

$$Q_{g(allow)} = Q_{ijm} / \phi$$

Dengan Q_u = kapasitas tiang tunggal (kN), Q_{ijm} = daya dukung ijin fondasi tiang tunggal (kN), Q_p = tahanan ujung tiang (kN), Q_s = tahanan friksi tiang (kN), dan ϕ = faktor keamanan yang diambil minimal 2,50 (SNI 8460:2017).

Daya dukung kelompok tiang dapat dihitung menggunakan persamaan (3) sebagai berikut.

$$Q_{g(allow)} = \phi \times n \times Q_{ijm}$$

(3) Dengan $Q_{g(allow)}$ = daya dukung ultimit fondasi tiang kelompok (kN), E_f = efisiensi tiang, dan n = jumlah tiang (kN).

Daya Dukung Horizontal (Lateral), Defleksi dan Rotasi Tiang

Estimasi nilai daya dukung arah horizontal (lateral) pada fondasi tiang dapat dianalisis berdasarkan data fisik fondasi dan parameter tanah, dengan menerapkan prinsip-prinsip mekanika. Tahanan lateral fondasi tiang dapat ditentukan menggunakan metode Broms seperti persamaan (4) dan (5) berikut ini.

$$K_h = \sqrt[4]{\frac{E_p l}{n_h \times R}} \tag{4}$$

$$d = \sqrt[5]{\frac{E_p l}{T}} \tag{5}$$

Dengan I_p = momen inersia tiang (m⁴), E_p = modulus elastisitas tiang (kN/m²), n_h = koefisien modulus variasi (kN/m³), K_h = modulus reaksi subgrade (kN/m³), d = diameter tiang (m), R = faktor atau koefisien kekakuan R , dan T = faktor atau koefisien kekakuan T .

Beban lateral dari tiang pendek serta momen yang terjadi di kepala tiang didapatkan dengan persamaan (6) dan (7) berikut ini.

$$H_u = \left(\frac{3}{2}\right) \gamma e^2 d^2 p \tag{6}$$

$$M_y = \frac{2}{3} \left(\frac{3}{2}\right) \gamma e^2 d^3 p \tag{7}$$

Jika kondisi tiang panjang dan M_{maks} lebih besar daripada M_y , maka nilai H_u dapat dihitung dengan persamaan (8), (9) dan (10) sebagai berikut.

$$H_u = 2 \frac{\gamma y}{\left(d + \frac{2M_y}{3}\right)} \tag{8}$$

$$M_y = \left(\frac{1}{2}\right) \gamma e^2 d^3 p - H_u d \tag{9}$$

$$d = 0,82 \sqrt[5]{\frac{H_u}{\gamma p}} \tag{10}$$

Dengan H_u = gaya lateral ultimit (kN), K_p = koefisien tanah pasif yang dapat dicari menggunakan perhitungan korelasi dengan nilai N-SPT (Das, 2009), γ = berat volume tanah (kN/m³), e = jarak beban ke muka tanah (m), d = diameter tiang (m), M_y = momen tahanan bahan tiang (kN.m), dan f = jarak ke titik gaya lintang sama dengan nol (m).

Defleksi yang terjadi pada tiang dapat ditoleransi hingga sebesar 12 mm. Sementara itu, rotasi tiang terhadap posisi/arah sumbu mayor yang dirancang diharapkan tidak lebih dari 10° (setara dengan 1:6 atau 15%). Dalam hubungannya dengan metode Broms, tiang yang tertanam dalam tanah granuler dikaitkan dengan koefisien untuk tanah granuler seperti persamaan (11).

$$\alpha = \left[\frac{n_h l}{\gamma p} \right] \tag{11}$$

Tiang ujung bebas dan jepit berkelakuan seperti tiang pendek, bila $\alpha L < 2$ dengan besarnya defleksi, maka perhitungan

defleksi dan rotasi untuk tiang ujung jepit ditunjukkan oleh persamaan (12) dan (13).

$$\theta = \frac{1.6}{(n_h)^{2/5}} \frac{L^2}{I_p} \frac{H}{e} \frac{y_0}{p} \quad (12)$$

$$\theta = \frac{1.6}{(n_h)^{2/5}} \frac{L^2}{I_p} \frac{H}{e} \frac{y_0}{p} \frac{1.7}{(n_h)^{1/5}} \frac{L^2}{I_p} \frac{H}{e} \frac{y_0}{p} \quad (13)$$

Dengan α = koefisien untuk tanah granuler, n_h = koefisien variasi modulus, I_p = inersia penampang tiang (cm⁴), e = jarak gaya H ke muka tanah (cm), L = panjang tiang tertanam tanah (cm), H = gaya lateral diijinkan (kg), y_0 = defleksi (mm), dan θ = rotasi tiang.

3. METODOLOGI DAN DATA PENELITIAN

Data perencanaan struktur Gedung Poliklinik RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Perencanaan Gedung

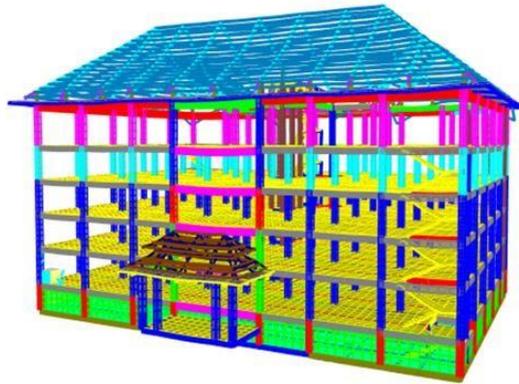
Parameter	Keterangan
Jenis pemanfaatan Gedung	Rumah sakit
Jumlah lantai struktur	5 lantai dan 1 basement
Tinggi basemen	3,50 m
Tinggi lantai 1	5,00 m
Tinggi lantai 2-4	4,50 m
Tegangan leleh baja tulangan (f_y)	420 MPa
Berat volume baja (γ_s)	7.850 kg/m ³
Modulus elastisitas baja (E_s)	200.000 MPa
Berat volume beton bertulang (γ_c)	2.400 kg/m ³
Kuat tekan beton (f'_c) untuk struktur gedung	30 MPa
Kuat tekan beton (f'_c) untuk tiang fondasi	41,5 MPa
Modulus elastisitas beton struktur (E_c)	25.742 MPa
Modulus elastisitas beton fondasi (E_c)	30.278 Mpa

Dimensi elemen struktur Gedung Poliklinik RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Elemen Struktur

Jenis Struktur	Dimensi (mm)
Kolom (K1A, K1B, K1C, K1D, K1E)	600 x 600
	B1 400 x 800
	B1a 400 x 1300
	B2 300 x 600
Balok	B2A 300 x 600
	B2Aa 300 x 1100
	B3 300 x 500
	B4 250 x 400
Pelat	B5 200 x 300
	S130: 130
Retaining Wall	S150: 150
Tie Beam	TB0300 x 500
	200
	TB1 300 x 600

Gedung Poliklinik RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah dimodelkan pada software SAP2000 dengan memasukan data-data struktur dan pembebanan yang telah dihimpun. Model dapat dilihat pada Gambar 1. Setelah dilakukan pemodelan dan pembebanan, dilanjutkan dengan melakukan analisis untuk mendapatkan gaya-gaya dalam serta perhitungan kapasitas fondasi tiang tunggal dan tiang kelompok. Variasi penampang persegi, lingkaran dan segitiga dianalisis dan dibandingkan kapasitas tiangnya dengan fondasi eksisting, lalu ditentukan beberapa kombinasi tiang kelompok dengan variasi penampang yang memiliki kapasitas dengan efisiensi pelaksanaan paling optimum.



Gambar 1. Model Gedung menggunakan Software SAP2000

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang

Dari hasil analisis dan pemodelan struktur pada software SAP2000, didapatkan data dengan gaya yang terbesar yaitu:

$$P = 5390,12 \text{ kN}$$

$$M_x = 0,18 \text{ kN.m}$$

$$M_y = 17,49 \text{ kN.m}$$

$$H_u = 13,43 \text{ kN}$$

Perhitungan fondasi tiang tunggal dilakukan untuk mengetahui daya dukung tiang tunggal pada tiap jenis fondasi dengan faktor keamanan sebesar 3,00. Rekapitulasi hasil analisis daya dukung tiang tunggal dengan berbagai bentuk variasi penampang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Tunggal Dengan Variasi Penampang

Bentuk	D (m)	P (kN)	Q _{ult} (kN)	Kontrol
Persegi	0,30	5390,12	664,20	Not OK
	0,40	5390,12	1.049,60	Not OK
	0,50	5390,12	1.517,00	Not OK
Lingkaran	0,30	5390,12	521,87	Not OK
	0,40	5390,12	824,69	Not OK
	0,50	5390,12	1.191,93	Not OK
Segitiga	0,30	5390,12	405,90	Not OK
	0,40	5390,12	579,26	Not OK
	0,50	5390,12	691,61	Not OK

Sesuai hasil analisis pada Tabel 3, daya dukung tiang tunggal persegi memiliki daya dukung paling besar dibandingkan tiang tunggal tipe lingkaran maupun segitiga. Nilai daya dukung terbesar yaitu 1.517,00 kN pada penampang persegi dengan panjang sisi 500 mm sedangkan yang terkecil yaitu 405,90 kN pada penampang segitiga dengan panjang sisi 300 mm. Dari hasil analisis tersebut, penggunaan tiang tunggal pada struktur gedung ini tidak direkomendasikan karena daya dukung yang diperoleh belum mampu menahan beban struktur atas. Oleh karena itu, perlu diperhitungkan penggunaan fondasi dalam tiang kelompok.

Pada fondasi tiang kelompok, hal yang perlu diperhitungkan dalam analisis yaitu daya dukung aksial, lateral, defleksi dan rotasi pada tiang kelompok. Hasil dari analisis perhitungan dengan variasi penampang persegi, lingkaran dan segitiga ditunjukkan pada Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6. Desain fondasi eksisting merupakan tipe PE12 400 dengan bentuk penampang persegi berukuran sisi 400 mm sebanyak 12 buah tiang. Daya dukung fondasi tiang kelompok eksisting ini sebesar 9201,08 kN, sehingga variasi penampang yang dipilih adalah yang mendekati daya dukung tersebut.

Tabel 4. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok Penampang Persegi

Tipe	PP6 300	PP6 400	PP6 500	PP9 300	PP9 400	PP9 500	PP12 300	PE12 400	PP12 500
n (bh)	6	6	6	9	9	9	12	12	12
D (mm)	300	400	500	300	400	500	300	400	500
Pu (kN)	5589,41	5750,34	5962,24	5691,65	5935,40	6256,54	5800,93	6208,13	6550,84
Q _{g(alt)} (kN)	3179,70	5024,71	7262,27	4501,13	7112,89	10280,35	5822,56	9201,08	13298,44
Kontrol	No	No	Oke	No	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke
Hu (kN)	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43
Hg (kN)	310,76	608,07	1.023,48	466,15	912,11	1.535,22	621,53	1.216,14	2.046,96
Kontrol	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke
yo (mm)	0,0014	0,0009	0,0006	0,0014	0,0009	0,0006	0,0014	0,0009	0,0006
yo maks (mm)	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
kontrol	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke
∅ (°)	0,1194	0,0597	0,0349	0,1194	0,0597	0,0349	0,1194	0,0597	0,0349
∅ maks (°)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
kontrol	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke

Tabel 5. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok Penampang Lingkaran

Tipe	PL6 300	PL6 400	PL6 500	PL9 300	PL9 400	PL9 500	PL12 300	PL12 400	PL12 500
n (bh)	6	6	6	9	9	9	12	12	12
D (mm)	300	400	500	300	400	500	300	400	500
Pu (kN)	5942,29	5741,66	5953,83	6182,03	5848,22	6120,32	6447,74	6004,21	6369,21
Q _{g(alt)} (kN)	2498,33	3947,99	5706,07	3536,60	5588,70	8077,42	4574,87	7229,42	10448,77
Kontrol	No	No	No	No	No	Oke	No	Oke	Oke
Hu (kN)	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43
Hg (kN)	218,43	427,40	719,39	327,65	641,11	1.079,08	436,86	854,81	1.438,77
Kontrol	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke
yo (mm)	0,0018	0,0011	0,0008	0,0018	0,0011	0,0008	0,0018	0,0011	0,0008
yo maks (mm)	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
kontrol	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke
∅ (°)	0,1642	0,0821	0,0480	0,1642	0,0821	0,0480	0,1642	0,0821	0,0480
∅ maks (°)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
kontrol	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke	Oke

Tabel 6. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok Penampang Segitiga

Tipe	PT6 300	PT6 400	PT6 500	PT9 300	PT9 400	PT9 500	PT12 300	PT12 400	PT12 500
n (bh)	6	6	6	9	9	9	12	12	12
D (mm)	300	400	500	300	400	500	300	400	500
Pu (kN)	5640,26	5792,30	5906,64	5666,22	5841,74	5973,39	5692,18	5891,18	6070,27
Q _{g(alt)} (kN)	1943,15	2773,05	3310,91	2750,69	3925,48	4686,87	3558,23	5077,92	7125,56
Kontrol	No	No	Oke						
Hu (kN)	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43
Hg (kN)	94,12	152,02	200,10	141,17	228,03	300,15	188,23	304,04	511,74
Kontrol	Oke	Oke	Oke						
yo (mm)	0,0028	0,0018	0,0015	0,0028	0,0018	0,0015	0,0028	0,0018	0,0012
yo maks (mm)	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
kontrol	Oke	Oke	Oke						
∅ (°)	0,3225	0,1611	0,1213	0,3225	0,1611	0,1213	0,3225	0,1611	0,0941
∅ maks (°)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
kontrol	Oke	Oke	Oke						

Keterangan:

- = Alternatif
- = Eksisting

Dari hasil analisis, didapatkan 5 tipe tiang kelompok terbaik dengan variasi penampang yaitu bentuk persegi (PP6 500 dan PP9 400), bentuk lingkaran (PL9 500 dan PL12 400), serta bentuk segitiga (PT12 500). Daya dukung terbesar didapat pada tipe PL9 500 sebesar 8.077,42 kN sedangkan yang terkecil adalah tipe PP9 400 sebesar 7.112,89 kN. Berdasarkan perhitungan daya dukung lateral, semua tipe fondasi mampu menahan gaya horizontal. Begitu juga pada perhitungan defleksi dan rotasi yang diakibatkan oleh gaya horizontal kurang dari batas maksimum yang bisa diterima oleh fondasi. Maka dari itu, semua tipe fondasi memenuhi syarat daya dukung lateral, defleksi dan rotasi.

Penulangan tiang dihitung berdasarkan gaya yang disebabkan oleh pengangkatan menggunakan alat pada saat instalasi tiang berlangsung (Sardjono, 1988). Tulangan tiang yang dianalisis sebatas tiang yang memenuhi syarat daya dukung yaitu tiang alternatif dan eksisting. Tulangan pada *pile cap* juga diperhitungkan menggunakan metode geser satu arah dan dua arah. Setelah didapatkan, selanjutnya dikontrol terhadap kapasitas geser dan momen yang terdapat pada *pile cap*.

Efisiensi Pelaksanaan Instalasi Tiang

Metode pelaksanaan instalasi tiang menggunakan *hydraulic jack-in* dan *drop hammer* adalah dua metode yang umum

digunakan. Pemilihan metode ini dipertimbangkan berdasarkan dua faktor utama, yaitu waktu dan biaya sewa, serta kondisi lingkungan proyek. Metode *hydraulic jack-in* bekerja dengan cara menekan tiang ke dalam tanah menggunakan dongkrak hidrolik yang diberi beban penyeimbang (*counterweight*). Metode *diesel drop hammer* adalah proses memasukan tiang pancang ke dalam tanah dengan cara memukulnya menggunakan palu (*hammer*) yang diberi bantalan di atas kepala tiang. Hasil analisis perbandingan dua metode pelaksanaan instalasi tiang ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Analisis Efisiensi Waktu dan Produktivitas menggunakan Metode *Hydraulic Jack-In*

Pembanding	PE12 400	PP6 500	PP9 400	PL9 500	PL12 400	PT12 500
Jarak antar fondasi (m)	1,00	1,25	1,00	1,25	1,00	1,25
Kecepatan mobilisasi alat (m/menit)	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Waktu mobilisasi alat (menit)	9,17	5,21	6,67	8,33	9,17	11,46
Panjang tiang (m)	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Jumlah tiang	12,00	6,00	9,00	9,00	12,00	12,00
Kecepatan alat memancang (m/menit)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Waktu pemancangan (menit)	24,00	12,00	18,00	18,00	24,00	24,00
Ikat tiang pancang (menit)	4,08	2,04	3,06	3,06	4,08	4,08
Total waktu instalasi (menit)	37,25	19,25	27,73	29,39	37,25	39,54
Total panjang tiang (m)	144,00	72,00	108,00	108,00	144,00	144,00
Jumlah alat (unit)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Produktivitas (m/menit)	3,87	3,74	3,90	3,67	3,87	3,64

Tabel 8. Analisis Efisiensi Waktu dan Produktivitas menggunakan Metode *Drop Hammer*

Pembanding	PE12 400	PP6 500	PP9 400	PL9 500	PL12 400	PT12 500
Jarak antar fondasi (m)	1,00	1,25	1,00	1,25	1,00	1,25
Kecepatan mobilisasi alat (m/menit)	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03
Waktu mobilisasi alat (menit)	5,42	3,08	3,94	4,93	5,42	6,77
Panjang tiang (m)	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Jumlah tiang	12,00	6,00	9,00	9,00	12,00	12,00
Kec. alat memancang (m/menit)	46,35	46,35	46,35	46,35	46,35	46,35
Waktu pemancangan (menit)	556,20	278,10	417,15	417,15	556,20	556,20
Ikat tiang pancang (menit)	15,60	7,80	11,70	11,70	15,60	15,60
Angkat tiang pancang (menit)	18,00	9,00	13,50	13,50	18,00	18,00
Penyesuaian dudukan tiang (menit)	28,80	14,40	21,60	21,60	28,80	28,80
Penyetelan vertikal tiang (menit)	6,72	3,36	5,04	5,04	6,72	6,72
Total waktu instalasi (menit)	630,74	315,74	472,93	473,92	630,74	632,09
Total panjang tiang (m)	144,00	72,00	108,00	108,00	144,00	144,00
Jumlah alat (Unit)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Produktivitas (m/menit)	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23

Dari hasil analisis pada Tabel 7 dan Tabel 8, metode *hydraulic jack-in* lebih menguntungkan dalam pelaksanaan instalasi tiang karena memiliki waktu yang lebih singkat dan produktivitas yang lebih besar dibandingkan dengan metode *drop hammer*. Selain itu, metode *drop hammer* memiliki tingkat kebisingan yang lebih tinggi daripada metode *hydraulic jack-in* dan kemungkinan besar akan merusak bangunan di sekitarnya akibat dari getaran yang dihasilkan alat tersebut. Maka dari itu, metode *hydraulic jack-in* lebih disarankan untuk digunakan dalam proses instalasi tiang. Dari kelima tipe fondasi yang menggunakan metode *hydraulic jack-in*, tipe PP6 500 memiliki waktu instalasi paling cepat yakni 19,25 menit. Sedangkan produktivitas yang paling besar ada pada tipe PP9 400 yaitu sebesar 3,90 m/menit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan fondasi tiang kelompok, fondasi eksisting (PE12 400) memiliki daya dukung paling besar yaitu sebesar 9201,08 kN dibandingkan dengan kelima variasi desain penampang fondasi yang telah memenuhi syarat, dimana daya dukung terbesarnya adalah sebesar 8.077,42 kN yaitu fondasi tipe PL9 500. Variasi desain penampang memberikan daya dukung yang berbeda-beda, menyesuaikan dengan geometri penampang, jumlah tiang serta daya dukung yang dihasilkan untuk menahan beban. Adanya variasi desain penampang ini juga berpengaruh pada efisiensi metode pelaksanaan dan nilai produktivitas.

Berdasarkan analisis efisiensi metode pelaksanaan instalasi tiang fondasi berupa *hydraulic jack-in*, didapatkan hasil analisis bahwa alternatif fondasi tipe PP6 500 memiliki total waktu instalasi yang lebih cepat dibandingkan tipe lainnya yakni 19,25 menit dengan produktivitasnya yaitu 3,74 m/menit. sedangkan tipe eksisting (PE12 400) membutuhkan waktu instalasi selama 37,25 menit dengan produktivitas sebesar 3,87 m/menit. Hal ini disebabkan karena tipe PP6 500 memiliki jumlah tiang yang paling sedikit dibandingkan dengan alternatif variasi lainnya. Dari hasil perbandingan dan analisis yang telah dilakukan, fondasi tiang pancang berpenampang persegi tipe PP6 500 dapat dijadikan sebagai alternatif pemilihan fondasi pada struktur Gedung Poliklinik RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik. www.bsn.go.id
Bowles, J. E. (1997). Analisis dan Desain Pondasi-Bowles (4th ed.).
Das, B. M. (2009). Principles of Geotechnical Engineering, 7th Edition.
Das, B. M. (2016). Principles of Foundation Engineering.
Sardjono, H. (1988). Pondasi Tiang Pancang Jilid 1.