

ANALISIS EFEKTIVITAS DAN EFISIENSI PERBEDAAN PENAMPANG PONDASI TIANG YANG DIPANCANG PADA TANAH PASIR

I Nyoman Aribudiman, Made Dodiek Wirya Ardana, dan Ni Putu Sintya Wira Pradnyani,
Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
e-mail: naribudiman@unud.ac.id

ABSTRAK: Pondasi merupakan struktur bagian bawah yang berfungsi untuk meneruskan beban struktur atas sebagai akibat dari gaya-gaya yang terjadi pada struktur atas. Pemilihan jenis pondasi dipengaruhi oleh letak kedalaman tanah keras. Besarnya daya dukung juga dipengaruhi oleh bentuk penampang pondasi. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan pondasi tiang dengan penampang persegi, segitiga, dan lingkaran serta tiang bor sehingga didapatkan alternatif pondasi yang lebih efektif dengan penampang berbeda dari segi kekuatan dengan luas penampang yang relatif sama dan lebih efisien dari segi pelaksanaan di lapangan dan biaya yang lebih ekonomis. Penelitian ini mengambil studi kasus pada Proyek Pembangunan Hotel Inna Sanur Beach dengan kondisi tanah lempung dan pasir. Perhitungan daya dukung pondasi tiang tunggal dilakukan dengan mengambil perhitungan daya dukung berdasarkan nilai SPT dan nilai sondir. Beban maksimum yang diterima oleh tiang dalam kelompok dihitung agar tidak lebih besar dari daya dukung tiang tunggal. Pondasi tiang pancang dengan penampang persegi memiliki daya dukung kelompok tiang terbesar dan tiang bor memiliki daya dukung kelompok tiang terkecil. Kontrol beban maksimum yang diterima kelompok tiang yang didapat lebih kecil dari daya dukung pondasi tiang tunggal sehingga struktur aman. Dari segi pelaksanaan pondasi tiang lebih efisien dan lebih ekonomis dari pondasi tiang bor.

Kata kunci: pondasi tiang, daya dukung pondasi, tanah pasir.

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS AND EFFICIENCY OF DIFFERENCES IN SUBSTANCES OF PILE FOUNDATIONS PURPOSED ON SAND SOIL

ABSTRACT: *The foundation is the lower part of the structure which functions to continue the load of the upper structure as a result of the forces that occur in the upper structure. The choice of foundation type is influenced by the location of the hard soil depth. The amount of bearing capacity is also influenced by the cross-sectional shape of the foundation. In this study, a pile foundation with square, triangular, and circular sections and a drill pile was compared to obtain a foundation alternative that was more effective with different sections in terms of strength with relatively the same cross-sectional area and more efficient in terms of implementation in the field and at a lower cost economical. This research took a case study on the Inna Sanur Beach Hotel Development Project with clay and sand conditions. The calculation of the carrying capacity of a single pile foundation is carried out by taking the calculation of the bearing capacity based on the SPT value and the sondir value. The maximum load received by the piles in the group is calculated so that it is not greater than the carrying capacity of a single pile. The pile foundation with square sections has the largest bearing capacity of the pile group and the drill pile has the smallest bearing capacity of the pile group. The maximum load control received by the pile group is smaller than the carrying capacity of a single pile foundation so that the structure is safe. In terms of implementation, the pile foundation is more efficient and more economical than the bored pile foundation.*

Keywords: *pile foundation, foundation bearing capacity, sand soil.*

PENDAHULUAN

Pondasi tiang merupakan pondasi yang digunakan apabila letak kedalaman tanah keras cukup dalam yang berfungsi untuk meneruskan beban struktur atas sebagai akibat dari gaya-gaya yang terjadi pada struktur atas. Besarnya daya dukung pondasi dipengaruhi oleh bentuk penampang pondasi. Selain itu, pemilihan penampang pondasi juga dipengaruhi oleh beban yang bekerja, kemudahan dalam pelaksanaan, dan ketersediaan di pasaran. Proyek Pembangunan Hotel Inna Sanur Beach digunakan sebagai studi kasus dengan kondisi tanah lempung dan pasir. Dalam penelitian ini dibandingkan pondasi tiang pancang dengan penampang persegi, segitiga, dan lingkaran serta pondasi tiang bor sehingga didapatkan alternatif pondasi yang lebih efektif dan lebih efisien. Efektif yang dimaksud adalah pondasi tiang dengan penampang berbeda alternatif yang lebih efektif dari segi kekuatan dengan luas penampang yang sama. Efisien dalam arti dari segi pelaksanaan yang lebih mudah di lapangan dan segi biaya yang lebih ekonomis. Menurut (Redana, 2009) pondasi struktur bangunan didefinisikan sebagai bagian dari struktur yang mempunyai kontak langsung dengan tanah dan meneruskan beban dari struktur ke lapisan tanah. Secara garis besar, pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal seperti pondasi telapak dan pondasi rakit dan pondasi dalam seperti pondasi sumuran dan pondasi tiang. Perbedaan dari pondasi ini adalah pondasi dangkal mendukung bebannya secara langsung sedangkan pondasi dalam dibuat apabila pondasi meneruskan beban ke tanah keras yang letaknya relatif jauh dari permukaan. Berdasarkan metode pelaksanaannya, pondasi tiang dapat dibedakan menjadi tiang pancang dan tiang bor. Pondasi tiang pancang di buat di suatu tempat pengecoran yang selanjutnya dikirim ke lokasi proyek sedangkan pondasi tiang bor dibuat dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu kemudian diisi tulangan dan dicor.

TEORI DAN METODE

Penelitian ini melakukan metode dengan menggunakan Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal berdasarkan CPT (Redana, 2009). Jarak antara tiang diambil dengan persyaratan $2,5 D < S < 6 D$ dan melakukan kontrol beban pada kelompok tiang. Beban lateral dan momen bekerja akibat gaya gempa, gaya angin pada struktur atas dan beban static. Nilai daya dukung lateral dapat dihitung dari data fisik pondasi dan parameter

tanah dengan menerapkan prinsip mekanika. Salah satu metode yang digunakan adalah metode Broms. Faktor kekakuan T perlu diketahui untuk menentukan besar tahanan ultimit tiang untuk mendukung beban lateral. Berdasarkan metode Broms, tiang dalam tanah granuler dikaitkan dengan tiang ujung bebas dan jepit berkelakuan seperti tiang panjang, bila $aL > 4$ dengan defleksi tiang ujung bebas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyek Pembangunan Hotel Inna Sanur berlokasi di Jalan Segara Ayu Sanur, Denpasar. Gedung hotel ini terdiri dari empat tingkat. Data perencanaan pondasi tiang yang digunakan yaitu: mutu beton pondasi tiang pancang ($f'c$) 40 MPa, mutu beton pondasi tiang bor ($f'c$) 29,05 MPa, baja tulangan pondasi (f_y) 400 MPa, dan berat beton (γ_c) 23,56 kN/m³. Data dari hasil SPT digunakan dalam perhitungan daya dukung pondasi tiang. Titik pengeboran yang diuji setiap interval 2 m mencapai kedalaman 20 m dengan nilai SPT (N=60). Pemodelan pada SAP 2000 dilakukan untuk mendapatkan gaya dalam pada kolom yang muncul akibat pembebanan pada pelat berupa beban hidup dan beban mati, beban pada balok serupa beban merata, serta pembebanan gempa secara statis ekuivalen. Tahapan dilanjutkan dengan menganalisa beban struktur atas sehingga didapatkan gaya-gaya dalam pada kolom yang paling maksimum. Beban terbesar yang bekerja dari seluruh kolom (P_u) sebesar 1072,066 kN dan beban horizontal (H) adalah 26,934 kN.

Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal

Berdasarkan nilai SPT, didapat nilai SPT ujung (N60) = 54 dan (N 60) = 38 pukulan pada kedalaman 7 m. Daya dukung tiang tunggal dengan penampang yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Daya dukung tiang tunggal berdasarkan SPT

Jenis Pondasi	Diameter atau Panjang Sisi (m)	Luas Penampang (m ²)	Q _{ijin} (kN)
Tiang Pancang Persegi	0,27	0,072	838,25

Tiang Pancang Segitiga	0,36	0,072	830,15
Tiang Pancang Lingkaran	0,3	0,07	792,18
Tiang Bor	0,3	0,07	655,86

Berdasarkan nilai CPT, daya dukung tiang tunggal pada kedalaman 4 m ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Daya dukung tiang tunggal berdasarkan CPT

Jenis Pondasi	Akibat Tahanan Tiang (kg)	Akibat Lekatan (kg)	Q _{ijin} (kN)
Tiang Pancang Persegi	60750	5356,8	648,286
Tiang Pancang Segitiga ^a	57735,03	5952	624,56
Tiang Pancang Lingkaran	58875	4672,32	623,19
Tiang Bor	58875	4672,32	623,19

Berdasarkan perhitungan daya dukung tiang tunggal dari data SPT dan CPT, digunakan daya dukung tiang berdasarkan SPT pada kedalaman 7m untuk perhitungan selanjutnya.

Daya Dukung Pondasi Tiang Kelompok

Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang kelompok tiang pancang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Daya dukung tiang kelompok

	Tiang Pancang Persegi	Tiang Pancang Segitiga	Tiang Pancang Lingkaran	Tiang Bor
Jumlah Tiang	2	2	2	2
Kelompok Tiang	0,882	0,878	0,878	0,878
Daya Dukung Tiang Grup (kN)	1478,68	1457,74	1391,08	1151,678
Kontrol Beban Maksimum				
P1	518,302	533,359	532,468	532,468
P2	556,719	538,7	539,6	539,6
Jarak antar Tiang (m)	0,7	1,0	0,75	0,75

Kelangsingan Tiang

Tahanan lateral dari pondasi tiang ditinjau dari tahanan tiang tunggal dan hasil akan dikalikan jumlah tiang yang ada untuk mendapatkan tahanan tiang kelompok. Kondisi yang digunakan adalah *long term* dengan nilai kohesi yang tidak diperhitungkan. Selanjutnya dihitung gaya lateral ultimit dengan pondasi tiang dianggap sebagai tiang jepit dan didapat nilai defleksi tiang. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan tahanan lateral dan defleksi tiang

	Tiang Pancang Persegi	Tiang Pancang Segitiga	Tiang Pancang Lingkaran	Tiang Bor
--	-----------------------	------------------------	-------------------------	-----------

T (m)	0,93	0,94	0,91	0,89
4T	3,74	3,77	3,66	3,54
Kategori Tiang	tiang panjang	tiang panjang	tiang panjang	tiang panjang
Hu (kN)	82,88	74,772	74,44	60,16
Hs (Hu/F) (kN)	27,63	24,92	24,82	20,05
Hsg (Hs x n) (kN)	55,26	49,85	49,63	40,11
Mmaks (kNm)	7,04	3,75	3,27	3,27
Defleksi (mm)	1,59	1,41	1,49	1,28

Penulangan Pondasi Tiang

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kebutuhan waktu pengangkatan. Ada dua cara pengangkatan tiang pancang yaitu pada waktu pengangkatan dua tempat dan pada satu tempat (Ir. Sardjono HS., 1988).

1. Pengangkatan dua tempat

$$M1 = Y q a^2$$

$$M2 = Y q (L-2a)^2 - Y q a^2$$

dimana $M1 = M2$

$$M1 = M2 = Y q a^2 = 1,972 \text{ kNm}$$

$$V_{maks} = Y q (L-2a) = 3,564 \text{ kNm}$$

2. Pengangkatan satu tempat

$$M1 = Y q a^2$$

$$R1 = Y q (L-2a) - (Y q a^2)/(L-a)$$

$$M_x = R1 Y q a^2$$

syarat ekstrim: $\hat{M}_i = 0$

$$M1 = M2 = Y q a^2 = 3,605 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1,4 M1 = 5,073 \text{ kNm}$$

$$V_{maks} = Y q (L-2a) + M1/(L-a) = 3,564 \text{ kN}$$

$$V_{maks} = 1,4 V_{maks} = 7,102 \text{ kN}$$

Jadi keadaan yang paling menentukan adalah keadaan dengan pengangkatan pada satu tempat. Hasil perhitungan penulangan pondasi tiang dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan penulangan pondasi tiang

Jenis Pondasi	Tulangan Utama	Tulangan Geser
Tiang Pancang Persegi	2D16	010-100
Tiang Pancang Segitiga	3D16	010-15-
Tiang Pancang Lingkaran	2D16	010-80
Tiang Bor	2D16	010-80

Perhitungan tebal pile cap akan ditinjau berdasarkan kekuatan dalam menerima geser satu arah dan geser dua arah. Pada Tabel 6, dirangkum perhitungan pile cap dan penulangan pile cap pada tipe panampang.

Tabel 6 Perhitungan pile cap

Tipe Penampang	Tebal Pile Cap (m)	Penulangan Pile Cap		Dimensi Pile cap (m)
		Arah X	Arah Y	
Persegi	0,4	D16-150	D16-60	1,3 x 0,67
Segitiga	0,4	D16-90	D16-80	1,4 x 0,74
Lingkaran	0,4	D16-150	D16-150	1,35 x 0,7

Analisis Efisiensi Pelaksanaan

Pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang dilaksanakan dengan mempertimbangkan beberapa aspek yaitu:

Tabel 7 Perbandingan efisiensi pelaksanaan pondasi tiang

	Tiang Pancang Persegi	Tiang Pancang Segitiga	Tiang Pancang Lingkaran	Tiang Bor
Lokasi proyek tidak terlalu jauh sehingga tidak masalah dalam pengiriman	v	v	v	v
Persediaan cukup banyak dan mudah diperoleh	v	x	x	v
Mutu lebih terkendali	v	v	v	x
Lokasi proyek berbatasan dengan kawasan Hotel Inna dan jalan besar dan area proyek yang cukup luas sehingga tidak menimbulkan kebisingan	v	v	v	v

Dari perencanaan pondasi tiang di Proyek Pembangunan Hotel Inna Sanur Beach, dibandingkan tipe pondasi tiang pancang dengan penampang persegi, segitiga, dan lingkaran serta tiang bor. Keempat tipe pondasi ini memiliki luas penampang hampir sama dengan keliling pondasi tiang pancang segitiga yang paling besar yaitu 1,2 m dan keliling pondasi tiang pancang lingkaran dan tiang bor yang sama yaitu 0,942 m sedangkan keliling penampang persegi yaitu 1,08 m. Di antara semua tipe penampang, tiang pancang persegi memiliki luas yang paling besar sehingga memiliki luas selimut tiang yang terbesar. Oleh karena itu, nilai daya dukung akibat gesekan selimut tiang pancang persegi juga terbesar. Berdasarkan perhitungan daya dukung tiang tunggal, diperoleh daya dukung berdasarkan data sondir pada kedalaman 4 m lebih besar dari daya dukung berdasarkan data SPT pada kedalaman 4 m. Pada perencanaan ini, pondasi tiang direncanakan pada kedalaman 7 m. Hasil perhitungan menunjukkan tiang pancang persegi

memiliki daya dukung tiang tunggal terbesar sedangkan tiang bor memiliki daya dukung tiang tunggal yang paling kecil. Pada perhitungan daya dukung kelompok tiang, pondasi tiang pancang persegi memiliki daya dukung kelompok tiang yang paling besar dan tiang bor memiliki daya dukung kelompok tiang terkecil. Efisiensi kelompok tiang pada pondasi tiang pancang lingkaran dan tiang bor memiliki nilai yang paling besar yaitu 0,852. Pondasi tiang pancang persegi memiliki efisiensi kelompok tiang sebesar 0,842 sedangkan pondasi tiang pancang segitiga memiliki nilai yang paling kecil yaitu 0,704. Pada kontrol beban maksimum yang diterima kelompok tiang, diperoleh besar beban yang diterima oleh kelompok tiang lebih kecil dari pada daya dukung pondasi tiang tunggal sehingga struktur menjadi aman. Pada perhitungan kelangsingan tiang, keempat tipe pondasi dikategorikan sebagai pondasi tiang tidak kaku atau pondasi tiang panjang. Defleksi lateral tiang pada pondasi tiang pancang persegi, segitiga, lingkaran, dan tiang bor yaitu: 1,59 mm; 1,41 mm; 1,59 mm; dan 1,28 mm sudah memenuhi dari perpindahan lateral ijin pada bangunan yaitu 6 mm. Dari perhitungan harga, didapat pondasi tiang pancang lebih ekonomis dari tiang bor. Pondasi tiang pancang persegi memiliki harga yang paling kecil diantara semua tipe pondasi tiang.

SIMPULAN

Pada perencanaan pondasi tiang ini, dapat disimpulkan yaitu Dari perencanaan pondasi tiang di Proyek Pembangunan Hotel Inna Sanur Beach, dibandingkan tipe pondasi tiang pancang dengan penampang persegi, segitiga, dan lingkaran serta tiang bor. Keempat tipe pondasi ini memiliki luas penampang hampir sama dengan keliling pondasi tiang pancang persegi dan segitiga 14,904% lebih besar dari keliling pondasi tiang pancang lingkaran dan tiang bor. Berdasarkan perhitungan daya dukung tiang tunggal, diperoleh daya dukung berdasarkan data sondir pada kedalaman 4 m lebih besar dari daya dukung

berdasarkan data SPT pada kedalaman 4 m. Pada perencanaan ini, pondasi tiang direncanakan pada kedalaman 7 m. Hasil perhitungan menunjukkan tiang pancang persegi memiliki daya dukung tiang tunggal terbesar sedangkan tiang bor memiliki daya dukung tiang tunggal yang paling kecil. Pada perhitungan daya dukung kelompok tiang, pondasi tiang pancang persegi memiliki daya dukung kelompok tiang yang paling besar dan tiang bor memiliki daya dukung kelompok tiang terkecil. Pada kontrol beban maksimum yang diterima kelompok tiang, diperoleh besar beban yang diterima oleh kelompok tiang lebih kecil dari pada daya dukung pondasi tiang tunggal sehingga struktur menjadi aman. Pondasi tiang pancang persegi lebih ekonomis dari pada semua tipe pondasi tiang. Pada kasus ini disarankan menggunakan pondasi tiang pancang persegi karena memiliki daya dukung tanah paling kuat, lebih efisien dari segi pelaksanaan, dan memiliki nilai ekonomis yang lebih rendah dari tiang bor.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03 2847: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008a). SNI 2827: Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir. Sni, 1-23.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008b). SNI 2827:2008 Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir. SNI-4153.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 3638: Metode Uji Kuat Tekan-Bebas Tanah Kohesif.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 2847: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1-265.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 3420: Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase.
- Bowles, J. E. (1983). Analisis Dan Desain Pondasi (Jilid 1). Penerbit PT. Erlangga.
- Das, B. M. (2012). Principles of Foundation Engineering (Seventh Ed). PWS-Kent Publishing Company.
- Das, Endah, N., dan Mochtar, I. B. (1995).

- Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). In Erlangga.
- Dipohusodo, I. (1999). Struktur Beton Bertulang: Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). Teknik Fondasi 2 (keempat). Beta Offset.
- Sardjono, H.S. (1988). Pondasi Tiang Pancang (Jilid 1) . Penerbit Sinar Wijaya.
- Sardjono, H.S. (1991). Pondasi Tiang Pancang (Jilid 2). Penerbit Sinar Wijaya.
- Redana, I. W. (2009). Teknik Pondasi. Udayana University Press.
- Sardjono. (1988). Pondasi Tiang Pancang II. CV Sinar Jaya.
- SNI-4153. (2008). Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT

