

Tinjauan Ulang Struktur Pondasi Gedung Imigrasi Kelas I Banda Aceh-Aceh Dari Pondasi KSSL Ke Pondasi Tiang Pancang

Munirul Hady*¹, Bunyamin Bunyamin², Samsul Bahri³

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

^{2,3}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh, Indonesia

*Koresponden email: munirulhady@usk.ac.id

Diterima: 19 Maret 2025

Disetujui: 27 Maret 2025

Abstract

The selection of the appropriate foundation is highly influenced by soil conditions, as errors in planning can lead to building damage. In the construction of the Class I Immigration Office Building in Banda Aceh, an issue arose in determining the optimal foundation structure, particularly regarding the possibility of replacing the Spider Web Construction (KSSL) foundation with a pile foundation. This study aims to analyze whether pile foundations can serve as a viable alternative that meets technical requirements. Data were obtained from field surveys, as-built drawings, and regional maps, with modeling conducted using ETABS based on SNI 2847-2019 loading standards. The results indicate that pile foundations can be a feasible solution, with steel structures being more efficient in material usage compared to concrete structures. In concrete structures, piles with a diameter of 30 cm and a length of 5 m were used, whereas in steel structures, piles with a diameter of 20 cm and a length of 4 m were implemented. This study provides valuable insights into selecting the optimal foundation based on soil conditions and building structure type to enhance construction efficiency and stability.

Keywords: *foundation, pile foundation, steel structure, concrete structure.*

Abstrak

Pemilihan pondasi yang tepat sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, karena kesalahan dalam perencanaannya dapat menyebabkan kerusakan bangunan. Dalam pembangunan Gedung Imigrasi Kelas I di Banda Aceh, muncul permasalahan dalam menentukan struktur pondasi yang optimal, khususnya terkait kemungkinan mengganti Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL) dengan pondasi tiang pancang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah pondasi tiang pancang dapat menjadi alternatif yang memenuhi persyaratan teknis. Data diperoleh dari survei lapangan, as built drawing, dan peta wilayah, dengan pemodelan menggunakan ETABS sesuai SNI 2847-2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang dapat menjadi solusi yang memadai, dengan struktur baja lebih efisien dalam penggunaan material dibandingkan struktur beton. Pada struktur beton digunakan tiang pancang berdiameter 30 cm dengan panjang 5 m, sementara pada struktur baja digunakan tiang pancang berdiameter 20 cm dengan panjang 4 m. Studi ini memberikan wawasan penting dalam pemilihan pondasi yang optimal berdasarkan kondisi tanah dan jenis struktur bangunan, guna meningkatkan efisiensi dan stabilitas konstruksi.

Kata Kunci: *pondasi, tiang pancang, struktur baja, struktur beton.*

1. Pendahuluan

Pada proyek konstruksi, pondasi memegang peran krusial dalam perencanaan struktur bawah. Pemilihan jenis pondasi yang tepat memiliki dampak signifikan terhadap kelancaran proses konstruksi. Pondasi dapat diartikan sebagai struktur bangunan yang berada di bagian paling bawah suatu konstruksi. Pentingnya pondasi tak dapat dipisahkan dari keseluruhan struktur bangunan, karena pondasi berfungsi

sebagai pengalir beban dari struktur di atasnya ke lapisan tanah pendukung di bawahnya, dengan tujuan menghindari penurunan pada sistem struktur secara keseluruhan [1]. Sementara itu, kondisi tanah di bawah suatu struktur memiliki keterkaitan erat dengan respons tanah saat menerima beban [2].

Pondasi merupakan unsur penting untuk semua bangunan. Setiap bangunan: gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, kanal atau bendungan dibangun di atas permukaan tanah. Pondasi merupakan bagian struktur yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan menyalurkan beban di atasnya. Penggunaan pondasi dalam sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya [3]. Perlunya mengetahui daya dukung tanah, pola distribusi tegangan dalam tanah di bawah daerah jenis pondasi lainnya. pembebanan, kemungkinan penurunan fondasi, pengaruh/dampak air tanah dan getaran dan lain-lain [4].

Dalam merencanakan pondasi pada suatu struktur dapat menggunakan beberapa tipe pondasi yang pemilihannya berdasarkan fungsi bangunan atas yang dipikul oleh pondasi, serta kondisi tanah dimana bangunan akan didirikan. Ada dua jenis tipe pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal terbagi dari beberapa jenis, yaitu pondasi batu kali, pondasi plat beton lajur, pondasi sumuran dan pondasi dalam terdiri dari pondasi tiang pancang, pondasi bore pile [5].

Gedung Imigrasi Banda Aceh yang terdiri dari tiga lantai, memanfaatkan konstruksi pondasi Sarang Laba-Laba (KSLL). Penggunaan KSLL dipilih dengan pertimbangan ekonomis yang signifikan, menghasilkan efisiensi biaya yang baik, memiliki kekakuan lebih tinggi, pemadatan tanah yang efektif, penyebaran beban yang timbul sudah merata pada lapisan pendukung serta memiliki kemampuan melindungi secara permanen stabilitas dari perbaikan tanah didalamnya [6]. Berdasarkan karakteristik tanah dan beban struktur atas pada proyek pembangunan Gedung Imigrasi Banda Aceh, alternatif yang dapat dipertimbangkan adalah penggunaan pondasi tiang pancang. Sebagai respons terhadap kondisi tersebut, penulis berkeinginan untuk melakukan perencanaan ulang pondasi yang semula direncanakan menggunakan pondasi KSLL. Jenis pondasi tiang pancang diharapkan dapat dijadikan sebagai alternatif desain pondasi pada Gedung Imigrasi Banda Aceh.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efisiensi ekonomis antara penggunaan tiang pancang dan pondasi Sarang Laba-Laba (KSLL) untuk suatu proyek konstruksi, dan untuk mengetahui daya dukung tanah yang dapat mampu menerima beban pondasi. Manfaat penelitian ini adalah memberikan gambaran berupa alternatif perencanaan struktur pondasi dengan menggunakan pondasi tiang pancang, diharapkan dapat merencanakan struktur pondasi yang sesuai dengan data-data yang diperoleh. Dalam penelitian ini, batasan masalah fokus pada tinjauan terhadap analisa pembebanan dan analisa daya dukung tiang.

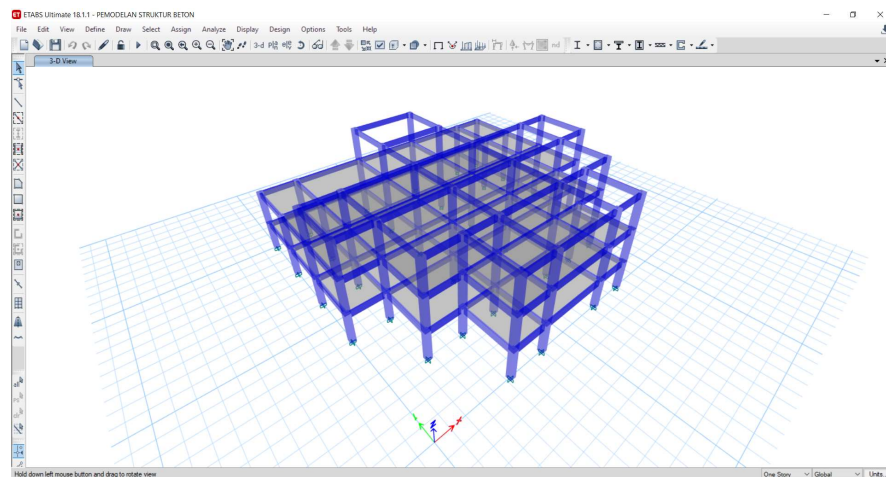
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tiang pancang dapat menjadi alternatif yang memadai untuk menggantikan pondasi KSLL. Struktur baja mungkin menawarkan efisiensi dalam penggunaan material, ditunjukkan oleh penggunaan tiang pancang dengan diameter yang lebih kecil dan panjang yang lebih pendek. Pada bangunan dengan struktur beton, digunakan tiang pancang berdiameter 30 cm dengan panjang 5 m, sementara pada bangunan dengan struktur baja, digunakan tiang pancang berdiameter 20 cm dengan panjang 4 m. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan tiang pancang sebagai alternatif pondasi dapat menjadi solusi yang memadai. Perbandingan antara struktur baja dan beton memberikan wawasan tentang berbagai opsi konstruksi yang tersedia, mempertimbangkan kekuatan, stabilitas, dan faktor-faktor teknis lainnya. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam peningkatan pemahaman tentang pemilihan struktur pondasi yang tepat untuk bangunan gedung, khususnya Gedung Imigrasi Kelas I di Banda Aceh.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara komputasi berdasarkan peraturan SNI tentang perhitungan pondasi dengan bantuan software ETABS versi Student.

2.1 Pemodelan Struktur

Analisis struktur gedung Imigrasi Kelas I Banda Aceh merupakan sebuah proses yang kompleks yang melibatkan pemodelan struktur dalam bentuk beton dan baja. Pendekatan ini bertujuan untuk memahami perilaku struktur gedung dalam berbagai situasi beban yang mungkin terjadi. Proses analisis ini sangat bergantung pada dimensi dan kondisi eksisting dari gedung tersebut, dimana evaluasi terhadap gaya-gaya yang timbul dilakukan untuk setiap kombinasi beban yang mungkin terjadi.

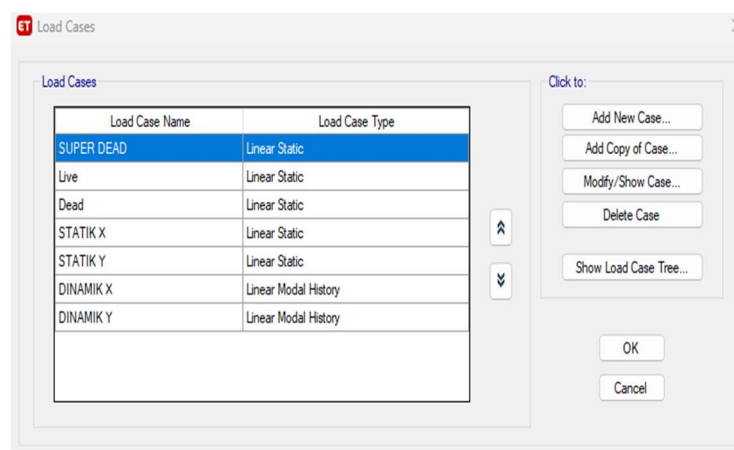
Gambar 1 Pemodelan struktur dengan ETABS versi *student*

Perencanaan Gedung Imigrasi Kelas I Banda Aceh ini akan direncanakan menggunakan struktur beton bertulang. Data mutu material beton yang diperoleh dari hasil survei diperoleh untuk kolom, balok, dan plat lantai sebesar 25 Mpa (K.300). Sedangkan material baja tulangan menggunakan tulangan < 14 mm $f_y = 240$ Mpa (polos), dan tulangan ≥ 14 mm $f_y = 320$ Mpa (ulir). Berikut ini merupakan mutu bahan yang digunakan:

- Mutu Beton : $f_c' = 25$ MPa (K.300)
- Modulus Elastisitas Beton : $4700 \sqrt{f_c'} = 22540$ Mpa
- Berat Jenis Beton Bertulang : 2400 kg/m³
- Mutu Baja : $f_y = 420$ MPa , $f_u = 545$ MPa (BjTS 420B)
 $f_y = 280$ MPa , $f_u = 405$ MPa (BjTP 280)
- Modulus Elastisitas Baja : 200.000 MPa
- Berat Jenis Baja : 7850 kg/m³

2.2 Pembebanan Struktur

Pembebanan yang dimasukkan pada program ETABS Versi Student adalah beban berdasarkan kondisi lapangan berupa beban mati elemen struktur (dead load), beban hidup (dead load) berupa luasan berdasarkan tinjauan fungsional bangunan, beban variabel (sementara) berupa beban Intensitas sebagai fungsi waktu, yaitu beban angin dan beban gempa (earthquake load) yang ditinjau terhadap beban gempa dinamik time history. Beban mati struktur telah dihitung secara otomatis pada software ETABS versi Student dengan memberikan faktor pengali berat sendiri sama dengan 1, sedangkan beban hidup dan beban gempa memiliki faktor pengali sama dengan 0 karena dimasukkan secara manual, pada ETABS versi Student Input dan load data di atas ditunjukkan pada Gambar 2:

Gambar 2 Pembebanan *Load Cases*

Beban mati (DL) adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran [7].

Beban hidup (LL) yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban horizontal terdiri dari beban gempa [7].

2.3 Kombinasi Beban

Pada penelitian ini kombinasi pembebanan mengikuti peraturan SNI 1726:2019 . Untuk memperoleh beban ultimit dari beban-beban yang mungkin akan terjadi pada struktur, maka dilakukan kombinasi beban terfaktor [8].

2.4 Melakukan Desain Pondasi Tiang Pancang

Desain pondasi tiang pancang diawali dengan pengumpulan data geoteknikal yaitu data pengeboran tanah (boring) untuk memperoleh informasi tentang jenis dan kekuatan tanah serta kondisi air tanah. Data ini digunakan dalam analisis struktur atas bangunan guna menentukan gaya-gaya yang bekerja pada pondasi, termasuk beban vertikal dan gaya lateral akibat angin atau gempa. Berdasarkan analisis ini, daya dukung pondasi dihitung untuk memastikan kestabilan dan keamanan struktur. Jumlah serta ukuran tiang pancang ditentukan dengan mempertimbangkan distribusi beban, konfigurasi struktur, dan karakteristik tanah. Dengan demikian, desain pondasi yang optimal mengintegrasikan data geoteknikal, analisis struktur, dan perhitungan daya dukung tanah guna memastikan efisiensi serta keamanan konstruksi.

2.5 Daya Dukung Izin Tiang

Daya dukung tiang ditinjau berdasarkan kekuatan ijin tekan dan kekuatan ijin tarik. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi tanah dan kekuatan material tiang itu sendiri[9].

Daya dukung pada ujung tiang:

$$Q = q_d \times A \dots \dots \dots (1)$$

$$R_a = \frac{q_d \times A_p}{FK1} + \frac{\sum l_i \times A_{st}}{FK2} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- Q = Daya dukung pada ujung tiang
- R_a = Daya dukung ijin tekan tiang
- Q_d = Intensitas daya dukung ultimate pada ujung tiang
- A_p = Luas Penampang Tiang
- A_{st} = Keliling Penampang Tiang
- l_i = Jumlah hambatan pelekot
- FK1, FK2 = Faktor keamanan 3 dan 5

Tabel 1 Perkiraan q_d untuk tiang yang dicor ditempat pada satuan t/m²

Intesintas daya dukung ultimate		≥ 50	N	750
		≥ 40	50>N	525
	Lapisan kerikil	≥ 30	40>N	300
	Lapisan berpasir	≥ 30	N	300
Pada ujung (q _d)	Lapisan lempung keras	3qu ²		

1. Perbedaan antara lapisan kerikil dengan lapisan berpasir dapat dipertimbangkan berdasarkan hasil penyelidikan pada sejumlah kecil tanah tersebut. Lapisan berpasir tanpa kerikil. Harga N diperoleh

dari penelitian.

2. Pada lapisan lempung keras, intensitas daya dukung ditetapkan berkenaan dengan kriteria perencanaan pondasi kaisan qu adalah kekuatan geser unconfined (t/m^2).

Tabel 2 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang (fi)

Jenis Pondasi	Tanah	Jenis Tiang	
		Tiang Pracetak	Tiang yang dicor ditempat
Tanah Berpasir		$N/5 (\leq 10)$	$N/2 (\leq 12)$
Tanah Kohesif		$(\leq 12) c$ atau N	$c/2$ atau $N/2 (\leq 12)$

(Sumber : Sosrodarsono dan Nakazawa (2000:102))

Daya dukung ijin Tarik pada pondasi terhadap kekuatan tanah dapat dianalisis dengan menggunakan rumus persamaan (3).

Untuk data N-SPT (Mayerhof)

$$P_{ta} = \frac{(\sum l f_i) \times 0,70}{FK2} + W_p \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

P_{ta} = Daya dukung ijin Tarik tiang (ton)

W_p = Berat pondasi (ton)

2.6 Penurunan Tiang

Pada waktu tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah akan mengalami penurunan.

- a. Penurunan tiang tunggal

Perhitungan penurunan tiang tunggal untuk tiang dukung ujung menggunakan metode Paulos dan Davis [10] sebagai berikut:

$$S = \frac{pl}{E_s d} \dots \dots \dots (4)$$

$$I = I_o R_k R_b R_m \dots \dots \dots (5)$$

$$K = \frac{E_p R_A}{E_s} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

S = Penurunan kepala tiang

P = Beban ultimit yang bekerja pada tiang

I_o = Faktor pengaruh penurunan untuk tiang

R_k = Faktor koreksi (kompresibilitas) tiang untuk $\mu=0,5$

R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

R_μ = Faktor koreksi angka poisson μ

K = Faktor Kekakuan Tiang

- b. Penurunan kelompok tiang

Hubungan penurunan antara tiang tunggal dan kelompok tiang:

$$S_g = \frac{(4B+3)^2}{(B+4)^2} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

S_g = Penurunan kelompok tiang

B = Lebar kelompok tiang

S = Penurunan tiang tunggal pada intensitas beban yang sama

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gaya Vertikal yang Bekerja pada Pondasi

Hasil analisis struktur atas bangunan gedung imigrasi mengungkap perbedaan signifikan dalam gaya vertikal yang bekerja pada pondasi tergantung pada jenis struktur yang dipilih. Ketika struktur gedung direncanakan dengan menggunakan struktur beton, gaya vertikal yang bekerja pada pondasi mencapai 1400,6 kN. Namun, ketika struktur tersebut direncanakan menggunakan struktur baja, gaya vertikal yang diberikan pada pondasi secara signifikan lebih rendah, hanya sebesar 543,78 kN.

Tabel 3. Gaya Vertikal yang bekerja pada pondasi

	Jenis Struktur	Gaya Vertikal pada Pondasi
1	Beton	1400,6 kN
2	Baja	543,78 kN

Analisis ini memperlihatkan bahwa pemilihan jenis struktur memiliki dampak yang substansial terhadap beban yang diterima oleh pondasi gedung. Selain faktor estetika, biaya, dan kekuatan struktural, pemilihan antara struktur beton dan baja harus mempertimbangkan beban yang ditransfer ke pondasi. Dengan memahami perbedaan ini secara mendalam, insinyur sipil dapat membuat keputusan yang lebih tepat dalam perencanaan dan desain struktur gedung imigrasi, yang pada gilirannya akan menghasilkan bangunan yang lebih efisien, ekonomis, dan aman.

3.2 Gaya Aksial Pada Tiang Pancang

Ketika gedung imigrasi direncanakan dengan menggunakan beton sebagai material struktural utamanya, gaya aksial pada pondasi mencapai 373,83 kN. Angka ini mencerminkan beban aksial dari berat sendiri gedung, termasuk struktur atasnya, serta beban-beban yang bekerja pada struktur gedung tersebut. Namun, ketika struktur baja dijadikan sebagai alternatif, gaya aksial pada pondasi menunjukkan penurunan yang signifikan, hanya sebesar 161,06 kN. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh bobot yang lebih ringan dari struktur baja, yang membutuhkan dukungan pondasi yang lebih sedikit. Selain itu, karakteristik mekanis yang berbeda antara beton dan baja juga berperan dalam menghasilkan perbedaan tersebut.

Tabel 4 Gaya Aksial yang bekerja pada pondasi

	Jenis Struktur	Gaya Aksial pada Pondasi
1	Beton	373,83 kN
2	Baja	161,06 kN

Analisis ini menyoroti pentingnya pemilihan material struktural dalam perencanaan dan desain bangunan. Selain memperhitungkan kekuatan dan keamanan struktur, faktor-faktor seperti bobot, biaya, dan efisiensi juga harus dipertimbangkan secara mendalam. Dengan memahami perbedaan gaya aksial yang dihasilkan oleh berbagai jenis material struktural, para insinyur dapat membuat keputusan yang lebih tepat dalam merancang pondasi yang efisien dan aman untuk gedung imigrasi dan proyek konstruksi lainnya.

3.3 Dimensi dan Kedalaman Tiang

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tiang pancang dapat menjadi alternatif yang memadai untuk menggantikan pondasi KSSL. Struktur gedung baja mungkin menawarkan efisiensi dalam penggunaan material, ditunjukkan oleh penggunaan tiang pancang dengan diameter yang lebih kecil dan panjang yang lebih pendek. Pada bangunan dengan struktur beton, digunakan tiang pancang berdiameter 30 cm dengan panjang 5 m, sementara pada bangunan dengan struktur baja, digunakan tiang pancang berdiameter 20 cm dengan panjang 4 m. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan tiang pancang sebagai alternatif pondasi dapat menjadi solusi yang memadai. Perbandingan antara struktur baja dan beton memberikan wawasan tentang berbagai opsi konstruksi yang tersedia, mempertimbangkan kekuatan, stabilitas, dan faktor-faktor teknis lainnya.

Tabel 5 Perbandingan Spesifikasi Tiang Pancang

	Jenis Struktur	Diameter Tiang Pancang (cm)	Panjang Tiang Pancang (m)
1	Beton	30	5
2	Baja	20	4

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan tiang pancang sebagai alternatif pondasi memiliki potensi untuk menjadi solusi yang memadai, terutama dalam konteks struktur baja. Perbandingan yang dilakukan antara struktur baja dan beton memberikan wawasan yang berharga tentang berbagai opsi konstruksi yang tersedia, mempertimbangkan kekuatan, stabilitas, serta daya dukung pondasi. Hal ini memungkinkan para insinyur untuk mempertimbangkan dengan cermat kekuatan, stabilitas, serta faktor-faktor teknis lainnya ketika memilih jenis struktur yang paling sesuai untuk proyek konstruksi tertentu. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan informasi tentang penggunaan tiang pancang sebagai alternatif pondasi, tetapi juga mendorong pemikiran kreatif dan inovatif dalam merancang bangunan dengan memperhitungkan berbagai aspek teknis.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada Tinjauan Ulang Struktur Pondasi Gedung Imigrasi Kelas I Banda Aceh Dari Pondasi KSLL ke Pondasi Tiang Pancang serta pembahasan yang diuraikan pada Bab IV, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Analisis struktur atas gedung imigrasi menunjukkan perbedaan signifikan dalam gaya vertikal pada pondasi tergantung pada jenis struktur yang dipilih. Struktur beton gedung imigrasi memiliki gaya vertikal pada pondasi 1400,6 kN, sedangkan struktur baja hanya 543,78 kN. Ini menunjukkan bahwa struktur baja gedung imigrasi lebih efisien dalam mentransfer beban vertikal pada pondasi.
2. Saat menggunakan beton sebagai struktur utama, gedung imigrasi menimbulkan gaya aksial pada pondasi sebesar 373,83 kN, mencerminkan beban gedung dan strukturalnya. Namun, beralih ke struktur baja menghasilkan penurunan signifikan dalam gaya aksial pondasi, hanya mencapai 161,06 kN. Hal ini disebabkan oleh bobot yang lebih ringan dari struktur baja dan perbedaan karakteristik mekanis antara beton dan baja.
3. Penggunaan tiang pancang sebagai alternatif pondasi menawarkan potensi efisiensi, terutama pada struktur gedung baja. Tiang pancang dengan diameter lebih kecil dan panjang lebih pendek digunakan pada struktur baja, dengan diameter 20 cm dan panjang 4 m, sementara pada struktur beton, digunakan tiang pancang berdiameter 30 cm dengan panjang 5 m.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh, Indonesia, dan Universitas Syiah Kuala. Selain itu, para penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Bapak Alhadi atas bantuan mereka dalam eksperimen dan pengumpulan data.

6. Daftar Pustaka

- [1] Artha, I. G. N. B. (2023). *Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Borepile Dan Tiang Pancang Pada Proyek Kontruksi Revitalisasi Pasar Tematik Wisata Ubud*.
- [2] Kurniasari, R. S. (2018). *Analisis Penggunaan Struktur Pondasi Sarang Laba- Laba Pada Konstruksi Gedung Bertingkat*
- [3] Sardjono, H. S., 1988, Pondasi Tiang Pancang, Jilid 1, Surabaya: Sinar Jaya Wijaya.
- [4] Soedarmo, Djatmiko dan Purnomo, Edy, 1993, Mekanika Tanah 1, Yogyakarta : Kanisius.
- [5] Bowles, J. E., 1997, Foundation Analysis and Design, Fifth Edition, Washinton D.C.

- [6] Wahyuni, S., Yanti, G., Zainuri, Z., & Hidayat, T. (2022). Analisis Redesain Pondasi Mini Pile Berbentuk Persegi Pada Gedung Pengadilan Negeri Pulau Punjung. *Sainstek (e-Journal)*, 10(1), 80–88. <https://doi.org/10.35583/js.v10i1.222>
- [7] Badan Standar Nasional (BSN). 2013. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013). BSN. Jakarta, Indonesia.
- [8] Badan Standar Nasional (BSN). 2019. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung* (SNI 1726:2019). BSN. Jakarta, Indonesia.
- [9] A. Pamungkas, *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: Andi, 2013.
- [10] Priambodo, M.R.A. 2020. Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang dengan Variasi Dimensi pada Tanah Lempung. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- [11] Muthmainnah, M. (2021). Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Variasi Dimensi. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [12] Rifandi, R. (2020). Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Taing Pancang Menggunakan Metode Teori Kurva Linear Studi Kasus Gedung SMPN 7 Tarakan. Disertasi. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [13] Dwitasari,M.N. (2018). Kajian Kapasitas Dukung Taing Pancang pada Tangki Timbun dengan Metode Mayerhoff dan Elemen Hingga. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.Yogyakarta.
- [14] Akbar, F. G. (2023). Perencanaan Ulang Struktur Bawah Gedung Dengan Pondasi Tiang Pancang (Redesign Lower Structur of Building Using Pile). 1–99.
- [15] H. C. Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2014.