

STUDI EFISIENSI STRUKTUR FONDASI PADA PENGGUNAAN DINDING DAN PANEL LANTAI BETON RINGAN AERASI

Iwan Rustendi¹, Ary Sismiani²

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Informasi Makalah

Dikirim, 05 Agustus 2021
Direvisi, 07 September 2022
Diterima, 08 September 2022

Kata Kunci:

*beton ringan aerasi
pembebanan struktur
dimensi struktur*

Keyword:

*aerated lightweight concrete
structure loading
structure dimensions*

INTISARI

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengurangan atau efisiensi struktur fondasi bangunan gedung yang menggunakan beton ringan aerasi pada dinding dan pelat lantainya, terhadap bangunan gedung yang menggunakan bata merah dan pelat lantai beton normal. Metode penelitian meliputi pengumpulan data, mendesain model rangka gedung untuk Gedung I yang menggunakan pelat lantai beton normal dan dinding bata merah dan Gedung II yang menggunakan panel lantai dan dinding beton ringan aerasi, *preliminary design*, menghitung pembebanan struktur, analisis struktur dengan SAP2000, dan perancangan struktur fondasi. Dari perhitungan didapatkan beban mati lantai pada Gedung I sebesar 450 kg/m² dan pada Gedung II sebesar 195,5 kg/m². Reaksi perletakan Gedung I pada fondasi Tipe I sebesar 1.867,321 kN, dan Tipe II sebesar 1.087,644 kN. Reaksi perletakan Gedung II pada fondasi Tipe I adalah 1.349,381 kN, dan pada fondasi Tipe II adalah 821,458 kN. Dimensi fondasi Gedung I fondasi Tipe I adalah 2,75 x 2,75 x 0,56 m³ dengan penulangan D16-125, dan fondasi Tipe II adalah 2,10 x 2,10 x 0,42 m³ dengan penulangan D16-175. Dimensi fondasi Gedung II fondasi Tipe I adalah 2,40 x 2,40 x 0,48 m³ dengan penulangan D16-150, fondasi Tipe II adalah 1,80 x 1,80 x 0,35 m³ dengan penulangan D16-200.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the reduction or efficiency of the foundation structure in buildings that use aerated lightweight concrete on the walls and floor slabs, for buildings that use red bricks and normal concrete floor slabs. This research method includes data collection (in the form of building pictures, soil data and lightweight concrete characteristics), designing a building frame model for Building I, which is a building that uses normal concrete floor slabs and brick walls and Building II is a building that uses floor and wall panels. aerated lightweight concrete, preliminary design, calculating structural loading, structural analysis with SAP2000, and designing the foundation structure. The reaction for the placement of Building I on the Type I foundation is 1,867,321 kN, and on the Type II foundation it is 1,087,644 kN. Meanwhile, the reaction for the placement of Building II on the Type I foundation is 1,349,381 kN, and on the Type II foundation it is 821,458 kN. The dimensions of the Building I foundation for Type I foundations are 2.75 x 2.75 x 0.56 m³ with D16-125 reinforcement, and for Type II foundations are 2.10 x 2.10 x 0.42 m³ with reinforcement D16-175. Meanwhile, the dimensions of the Building II foundation for the Type I foundation are 2.40 x 2.40 x 0.48 m³ with D16-150 reinforcement, for the Type II foundation it is 1.80 x 1.80 x 0.35 m³ with reinforcement D16- 200.

Korespondensi Penulis:

Iwan Rustendi
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Wijayakusuma Purwokerto
Jl. Raya Beji Karangsalam Purwokerto, 53152
Email: iwanrustendi72@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Material bangunan bata merah (batu bata) sangat populer dan masih banyak dipergunakan oleh masyarakat kita dalam pembuatan suatu bangunan khususnya bangunan gedung. Penggunaan bata merah untuk material dinding selain sudah merupakan tradisi yang turun temurun juga mudah mendapatkannya dan harganya relatif murah. Tapi sebenarnya dibalik kemudahan memperolehnya dan harganya yang relatif murah, penggunaan material bata merah mempunyai kelemahan dan kerugian. Produksi bata merah yang menggunakan bahan baku tanah secara perlahan tapi pasti lokasi penggalian tanah akan menyebabkan kerusakan lingkungan. Bagaimana tidak, penggalian tanah yang terus menerus dan berpindah-pindah pasti akan mengakibatkan berubahnya tata guna lahan dan merusak struktur tanah. Belum lagi dampak negatif yang diakibatkan oleh proses pembuatannya. Proses pembuatan yang menggunakan metode pembakaran akan menimbulkan pencemaran udara yang menghasilkan gas CO₂, sebagai salah satu penyebab *global warming*.

Sekarang seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, telah diproduksi material-material bangunan alternatif yang mempunyai banyak keunggulan. Sebagai contoh, alternatif pengganti genteng keramik adalah genteng yang terbuat dari logam (genteng metal) dan genteng yang terbuat dari bahan bitumen (aspal). Kuda-kuda kayu dan baja konvensional, alternatif penggantinya adalah kuda-kuda baja ringan (*cold formed steel truss*). Sebagai alternatif pengganti bahan dinding (pasangan bata) dan pelat lantai bisa digunakan material beton ringan aerasi (*Aerated Lightweight Concrete/ALC*).

Salah satu keunggulan dari material beton ringan aerasi adalah berat jenisnya yang relatif lebih ringan. Beton ringan aerasi (*Aerated Lightweight Concrete/ALC*) atau dikenal juga dengan istilah *Autoclaved Aerated Concrete (AAC)* sebagai material alternatif dinding gedung hanya memiliki berat 575 kg/m³ [1]. Nilai tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan berat bata merah yang bisa mencapai 1500 kg/m³ [2]. Sebagai pasangan dinding bata merah memiliki berat 250 kg/m², sedangkan bata ringan memiliki berat 57,5 kg/m², atau dengan kata lain bata merah lebih berat 4,34 kali dibandingkan dengan bata ringan [3].

Penggunaan material ringan seperti beton ringan aerasi sebagai dinding bangunan sangat menguntungkan bagi bangunan itu sendiri. Bangunan yang menggunakan material dengan bobot relatif berat menyebabkan bangunan juga menjadi berat, kemudian berimbas pada beban fondasi yang lebih besar, di sisi lain risiko guncangan gempa juga akan semakin tinggi. Karena berdasarkan teori bahwa makin besar bobot bangunan maka makin besar beban lateral gempa yang bekerja atau dengan kata lain beban gempa berbanding lurus dengan berat bangunan. Dengan demikian, keputusan akan menjadi tidak menguntungkan apabila seseorang membangun bangunan di daerah rawan gempa menggunakan material yang mempunyai berat jenis tinggi. Apalagi beberapa tahun terakhir ini tingkat intensitas gempa khususnya di negara Indonesia cukup tinggi.



Gambar 1. Kerusakan akibat eksploitasi tanah untuk bahan baku bata merah

Beton ringan aerasi sebagai material dinding (bata ringan aerasi) selain bobotnya yang ringan juga mempunyai tingkat presisi yang lebih baik dan ukuran yang lebih besar daripada bata merah sehingga proses pemasangannya lebih mudah dan cepat. Berdasarkan penelitian produktivitas pemasangan bata ringan sebagai dinding bisa mencapai 3,02 m²/jam, sementara produktivitas pemasangan bata merah sebagai dinding hanya sebesar 0,96 m²/jam [2]. Dengan demikian maka durasi pelaksanaan pembangunan gedung yang menggunakan dinding bata ringan aerasi bisa lebih cepat dibandingkan dengan yang menggunakan dinding bata merah.

Apabila dikaitkan dengan permasalahan atau fakta yang ada, penggunaan material beton ringan aerasi pada bangunan gedung bisa dikatakan sudah merupakan suatu kebutuhan yang mendesak dalam rangka mensukseskan program pembangunan di Indonesia. Permasalahan atau fakta yang ada saat ini diantaranya kerusakan lingkungan yang kian memprihatinkan, sebagian besar wilayah Indonesia merupakan daerah rawan gempa sehingga diperlukan suatu konstruksi bangunan yang ringan tapi kuat dan sering terjadinya

keterlambatan pekerjaan yang dikerjakan oleh kontraktor. Dengan beralihnya penggunaan material konvensional seperti bata merah dan beton normal ke beton ringan aerasi maka diharapkan bisa mengurangi laju kerusakan lingkungan, meminimalkan kerusakan bangunan gedung dan jumlah korban akibat fenomena gempa serta hasil pekerjaan bangunan gedung yang tepat mutu dan waktu.

2. PRODUK BETON RINGAN AERASI

2.1. Panel Lantai

Produsen beton ringan aerasi di Indonesia salah satunya adalah PT Hebel Indonesia, dan salah satu produknya adalah panel lantai. Panel lantai adalah merupakan produk pengganti plat lantai beton yang berbentuk panel-panel masif yang dilengkapi dengan tulangan dalam arah longitudinal dan transversal serta mempunyai dimensi tebal, lebar dan panjang tertentu. Karena sudah dilengkapi dengan tulangan (mempunyai fungsi struktur), maka panel lantai dapat langsung difinishing dengan keramik. Dengan bentuk dan karakteristiknya, panel lantai menjadi praktis, cepat dalam pemasangan dan efisien tapi tidak mengurangi fungsinya sebagai struktur pelat lantai. Penggunaan panel lantai akan memperpendek waktu pelaksanaan bangunan karena pekerjaan di bawah dan pada lantai yang bersangkutan tidak harus menunggu pelat lantai cukup kuat (beton kering) atau menunggu pembongkaran bekisting.

Penggunaan panel lantai dapat mengurangi total massa struktur yang mengakibatkan beban gempa menjadi lebih kecil sehingga desain akan menjadi lebih ringan [4][5]. Panel lantai juga dapat berfungsi sebagai lantai diafragma yang dapat mendistribusikan beban gempa.

Spesifikasi teknis panel lantai yang beredar di pasaran bervariasi (terutama panjang dan ketebalan) dengan spesifikasi teknis produk sebagai berikut [1]:

Panjang (mm)	: 1470, 1720, 1970, 2220, 2470, 2720, 2970, 3220, 3470, 3720
Lebar (mm)	: 600
Tebal (mm)	: 125, 150
Berat volume kering (kg/m^3)	: 660
Berat volume normal (kg/m^3)	: 780
Kuat tekan (MPa)	: 6,2
Konduktivitas termis (W/mK)	: 0,2
Beban layan (kg/m^2)	: 355



Gambar 2. Produk panel lantai [1]



Gambar 3. Panel lantai terpasang [1]



Gambar 4. Sambungan panel lantai [1]

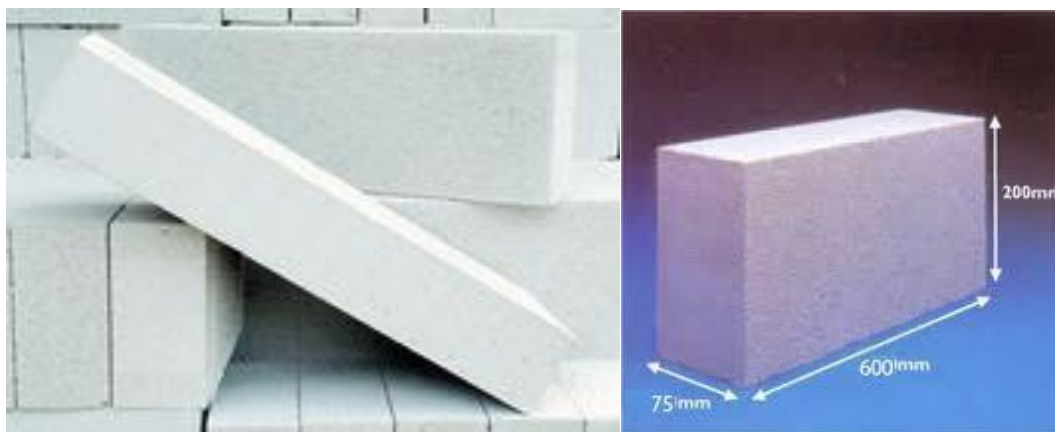
2.2. Blok

Blok juga merupakan salah satu produk bata ringan aerasi yang diproduksi oleh PT Hebel Indonesia sebagai material pasangan dinding pengganti bata merah. Berdasarkan ukurannya blok terdiri atas blok standar dan blok jumbo. Blok memberikan keakuratan, kekuatan, ekonomis, kemudahan dan kecepatan pemasangan, serta kerapian dalam membangun rumah tinggal, gedung komersial, dan bangunan industri. Cara pemasangan blok sebagai pasangan dinding pada prinsipnya sama dengan pemasangan bata merah, hanya ketebalan spesi (yang umumnya digunakan semen instan) lebih tipis yaitu sekitar 0,5 – 1 cm. Di samping itu karena pasangan blok mempunyai permukaan yang rata maka plesterannya juga bisa dibuat tipis, umumnya hanya sekitar 1 cm.

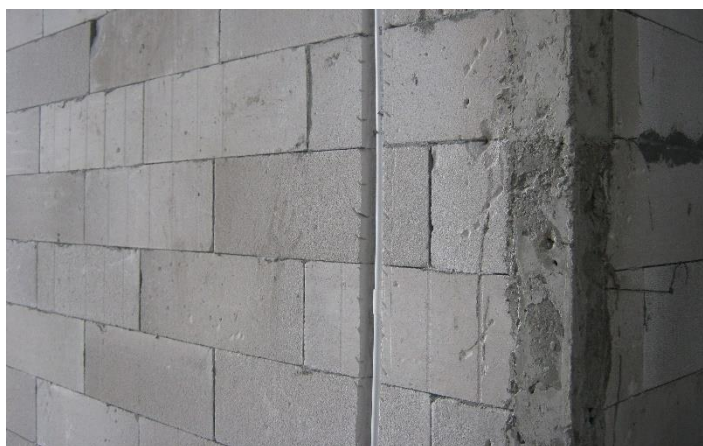
Sama dengan panel lantai penggunaan blok sebagai pasangan dinding dapat mengurangi total massa struktur sehingga beban lateral gempa menjadi lebih kecil. Penggunaan blok juga diklaim mampu menghemat pemakaian listrik untuk AC hingga 60 - 70 persen [6][7]

Spesifikasi teknis produk blok yang beredar di pasaran adalah sebagai berikut [1] :

Panjang (mm)	: 600
Tinggi (mm)	: 200
Tebal (mm)	: 75, 100, 125, 150, 175, 200
Berat volume kering (kg/m^3)	: 500
Berat volume normal (kg/m^3)	: 575
Kuat tekan (MPa)	: 4,0
Konduktivitas termis (W/mK)	: 0,16



Gambar 5. Blok Hebel standar [1]

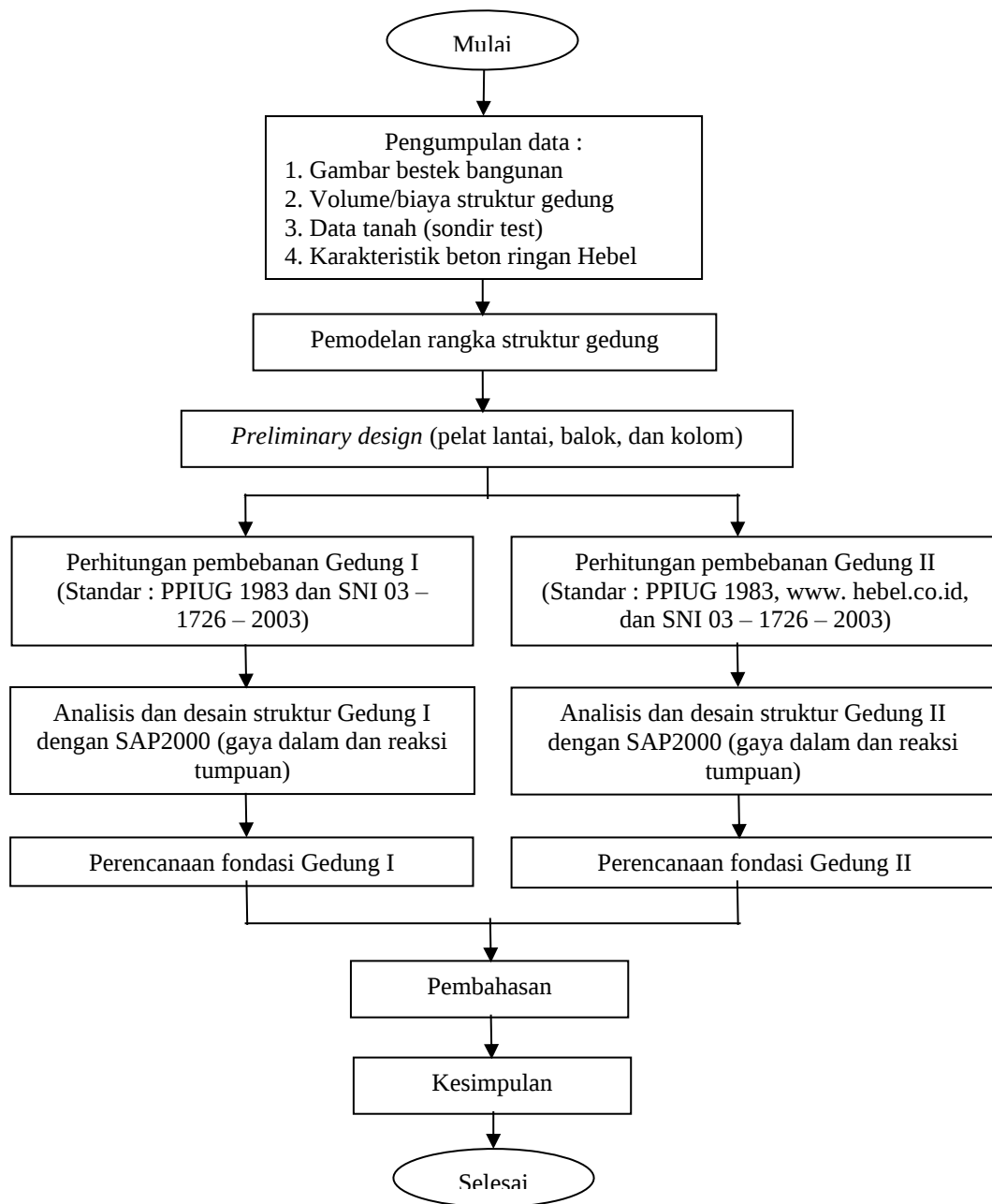


Gambar 6. Blok Hebel setelah dipasang menjadi dinding

3. METODE

Untuk mendapatkan komparasi struktur fondasi gedung antara bangunan gedung yang menggunakan dinding dan pelat lantai beton ringan aerasi dengan bangunan gedung yang menggunakan dinding bata merah dan pelat lantai beton normal maka ada beberapa tahap atau prosedur yang dilakukan yaitu:

- 1) Pengumpulan data
Data yang dikumpulkan berupa data sekunder di mana merupakan data yang diperoleh melalui media perantara (diperoleh dan dicatat oleh pihak lain). Data sekunder dalam penelitian ini berupa gambar bestek bangunan gedung yang akan dijadikan obyek studi kasus (salah satu gedung yang terdapat di wilayah Purwokerto), data hasil uji sondir (data tanah) dan data karakteristik beton ringan aerasi produksi PT Hebel Indonesia khususnya panel lantai serta blok hebel.
- 2) Mendesain model rangka (struktur) gedung
Bangunan yang dijadikan obyek studi kasus ditetapkan bentuk geometri rangka gedungnya dan ditentukan jenis materialnya.
- 3) *Preliminary design*
Tahap ini adalah menentukan ukuran atau dimensi struktur balok dan kolom berdasarkan peraturan atau standar yang berlaku.
- 4) Menghitung pembebanan struktur
Pembebanan struktur meliputi beban gravitasi (mati dan hidup) serta beban gempa. Perhitungan pembebanan dilakukan pada struktur gedung yang menggunakan pelat lantai beton normal dan dinding bata merah (selanjutnya disebut Gedung I) maupun struktur gedung yang menggunakan panel lantai dan dinding beton ringan aerasi (selanjutnya disebut Gedung II). Standar yang digunakan yaitu SNI - 1727 – 1989 tentang Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung [8], dan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03 – 1726 – 2002 [9].
- 5) Analisis dan desain struktur dengan *software* SAP2000
Tahap analisis struktur dengan *software* SAP2000 adalah perhitungan mekanika teknik atau perhitungan gaya dalam (momen, gaya lintang dan gaya aksial) serta reaksi tumpuan. Analisis struktur gedung dilakukan terhadap Gedung I maupun Gedung II.
- 6) Perancangan struktur fondasi
Reaksi tumpuan yang diperoleh dari analisis struktur dengan *software* SAP2000 selanjutnya digunakan untuk perancangan struktur fondasi baik itu struktur fondasi untuk Gedung I maupun Gedung II.
- 7) Kesimpulan
Pada tahap ini disimpulkan bagaimana pengaruh penggunaan beton ringan aerasi (pada dinding dan pelat lantai) terhadap biaya struktur gedung dibandingkan ketika menggunakan dinding bata merah dan pelat lantai beton normal. Dan ketika terjadi efisiensi biaya struktur gedung seberapa besar efisiensi yang terjadi, dan berapa besar efisiensi dari masing-masing elemen struktur yang ditinjau.

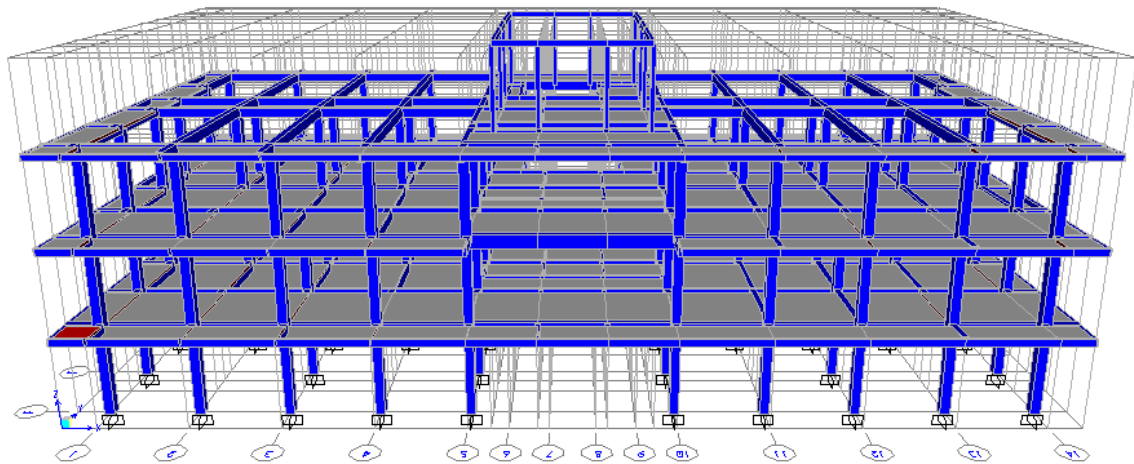


Gambar 7. Bagan alir proses penelitian

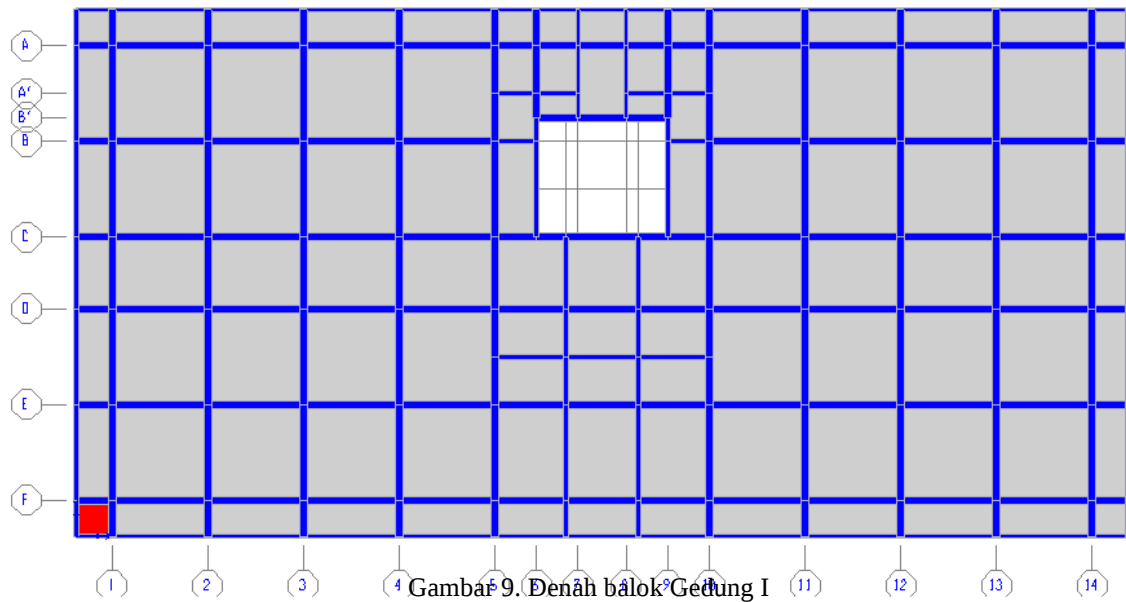
4. PEMBAHASAN

4.1. Model Rangka Struktur Gedung

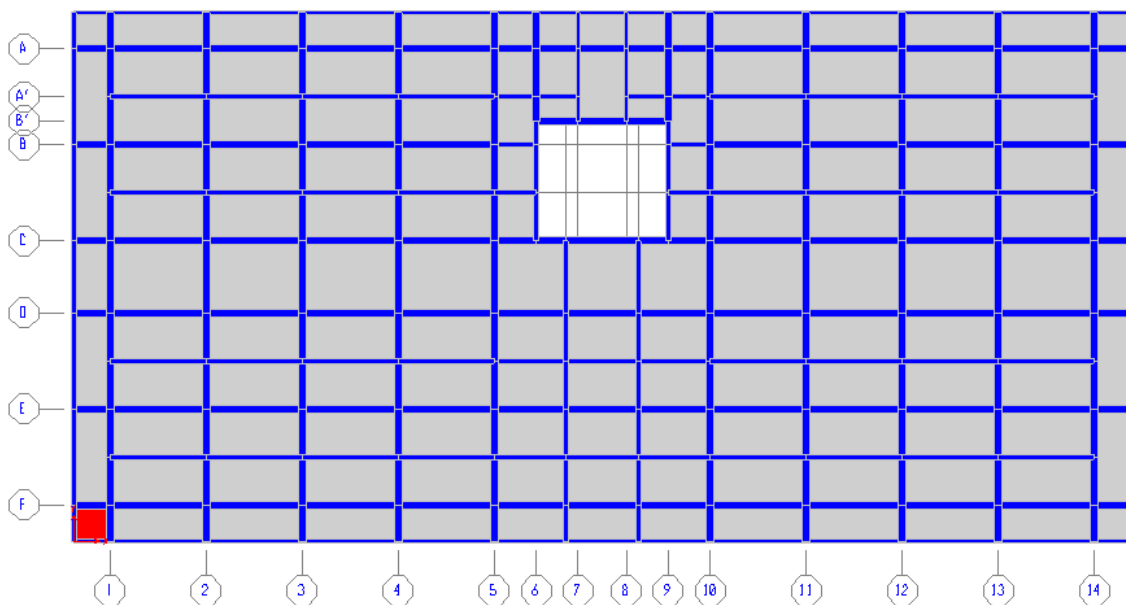
Model rangka struktu gedung antara Gedung I (gedung yang menggunakan pelat lantai beton normal dan dinding bata merah) dan Gedung II (gedung yang menggunakan panel lantai dan dinding beton ringan aerasi) terdapat sedikit perbedaan yaitu pada denah balok. Pada Gedung II terdapat balok anak yang berfungsi untuk memperpendek bentang panel lantai beton ringan aerasi, dikarenakan panjang panel lantai terbatas (tidak ada yang panjangnya 4,00 meter).



Gambar 8. Model rangka struktur gedung



Gambar 9. Denah balok Gedung I



Gambar 10. Denah balok Gedung II

4.2. Preliminary Design

Setelah membuat model struktur gedung dilanjutkan melakukan preliminary design . Preliminary design adalah menentukan dimensi dari elemen struktur mulai dari balok, kolom dan pelat. Penentuan dimensi elemen struktur mengacu pada SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung[10]. Dimensi elemen struktur selengkapnya dari Gedung I dan Gedung II ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 4.

Tabel 1. Tebal pelat beton Gedung I

No.	Pelat	h_{min} (mm)	Digunakan tebal pelat (mm)
1	Lantai	108	120
2	Luifel	47	120

Tabel 2. Tipe panel lantai yang digunakan pada Gedung II

No.	Pelat	Dimensi panel (mm)		
		Tebal	Lebar	Panjang
1	Lantai	125	600	2970
		125	600	1970
2	Luifel	125	600	1470

Tabel 3. Dimensi balok Gedung I dan Gedung II

No.	Jenis balok	Bentang balok	Notasi	Dimensi balok (mm)			
				Gedung I		Gedung II	
				Lebar b	Tinggi h	Lebar b	Tinggi h
1	Balok utama	L = 9000	BU1	300	600	300	500
2		L = 8000	BU1	300	600	300	500
3		L = 5500	BU2	300	500	300	450
4		L = 4000	BU2	300	500	300	450
5		L = 3000	BU3	300	450	300	400
6	Balok anak	L = 5000	BA1	-	-	200	400
7		L = 4000	BA2	-	-	200	350
8		L = 3000	BA2	-	-	200	350
9		L = 1750	BA2	-	-	200	350
10	Balok luifel	Kantilever L = 1500	BL1	300	450	300	400
11		L = 4000	BL2	200	300	200	300
12		L = 3000	BL2	200	300	200	300
13		L = 2000	BL2	200	300	200	300
14	Balok ring	L = 8000	BR1	300	450	300	450
15	Elevasi +12,00	L = 4000	BR1	300	450	300	450
16		L = 3000	BR1	300	450	300	450
17	Balok ring Elevasi +16,00	Semua bentang	BR2	200	300	200	300

Tabel 4. Dimensi kolom

No.	Koordinat kolom (mm)	Dimensi kolom (mm)		Notasi
		Lebar b	Tinggi h	
Lantai 1, 2 dan 3				
1	Semua koordinat kecuali No. 2	440	440	K1
2	(A , 6), (A . 9), (B' , 6), (B' . 9)	340	340	K2
Lantai 4				
1	Semua koordinat	200	200	K3

4.3. Pembebanan Gedung

Perhitungan pembebanan meliputi beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa. Perhitungan beban gravitasi mengacu pada SNI - 1727 – 1989 tentang Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung [8]. Sedangkan perhitungan beban gempa mengacu pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03 – 1726 – 2002 [9]. Beban gravitasi dan beban gempa pada Gedung I dan Gedung II disajikan pada Tabel 5 sampai Tabel 6.

Tabel 5. Beban gravitasi pada Gedung I dan Gedung II

No.	Jenis beban	Satuan	Gedung I	Gedung II	Selisih (%)
1	Beban mati lantai				
a.	Berat sendiri pelat lantai	kg/m ²	288	97,5	66
b.	Keramik (tebal 1 cm)	kg/m ²	24	24	0
c.	Adukan (tebal 3 cm)	kg/m ²	63	63	0
d.	Urugan pasir (tebal 4 cm)	kg/m ²	64	Tidak ada	100
e.	Plafond plus rangka	kg/m ²	11	11	0
	Jumlah	kg/m ²	450	195,5	57
2	Beban dinding (tinggi 3,4 m)	kg/m	850	425	50
3	Beban hidup lantai	kg/m ²	300	300	0
4	Beban hidup atap	kg/m ²	150	150	0

Tabel 6. Beban gempa pada Gedung I dan Gedung II

No.	As portal	Gedung I (kN)			Gedung II (kN)			Selisih (%)		
		Lt. 2	Lt. 3	Lt. 4	Lt. 2	Lt. 3	Lt. 4	Lt. 2	Lt. 3	Lt. 4
1	As 1	77,61	155,21	67,72	63,62	127,25	54,59	18	18	19
2	As 2	71,65	143,30	41,93	55,08	110,15	37,29	23	23	11
3	As 3	85,08	170,15	44,30	68,48	136,95	39,75	20	20	10
4	As 4	71,65	143,30	41,93	55,08	110,15	37,29	23	23	11
5	As 5	123,78	245,88	240,20	100,01	198,61	188,88	19	19	21
6	As 10	123,78	245,88	240,20	100,01	198,61	188,88	19	19	21
7	As 11	71,65	143,30	41,93	55,08	110,15	37,29	23	23	11
8	As 12	85,08	170,15	44,30	68,48	136,95	39,75	20	20	10
9	As 13	71,65	143,30	41,93	55,08	110,15	37,29	23	23	11
10	As 14	77,61	155,21	67,72	63,62	127,25	54,59	18	18	19
11	As A	151,99	303,97	190,41	124,87	249,74	156,87	18	18	18
12	As B	129,56	259,13	135,73	98,72	197,45	111,12	24	24	18
13	As C	133,45	266,89	135,98	105,13	210,26	114,43	21	21	16
14	As D	138,12	276,24	136,44	109,53	219,07	115,41	21	21	15
15	As E	132,68	265,36	135,01	102,21	204,42	109,78	23	23	19
16	As F	141,09	278,65	188,96	114,48	225,43	155,48	19	19	18

Beban yang bekerja pada struktur Gedung I dan Gedung II intensitasnya ada yang sama dan ada yang berbeda. Beban yang intensitasnya sama meliputi beban akibat berat sendiri balok dan kolom, beban hidup lantai dan beban atap (mati dan hidup). Sedangkan beban yang intensitasnya berbeda adalah beban pasangan dinding dan beban mati lantai.

Untuk Gedung I (gedung yang menggunakan pasangan dinding bata merah) dengan asumsi tebal pasangannya adalah $\frac{1}{2}$ bata maka intensitas beban dindingnya adalah sebesar 850 kg/m. Sedangkan untuk Gedung II (gedung yang menggunakan pasangan beton ringan aerasi) intensitas beban dindingnya hanya 425 kg/m. Ini berarti pada Gedung II terjadi pengurangan beban sebesar 425 kg/m atau terjadi penurunan beban 50% dibandingkan Gedung I.

Sementara untuk beban mati lantai, pengurangan beban pada Gedung II juga cukup signifikan yaitu mencapai 57%. Pada Gedung I intensitas beban mati lantainya adalah 450 kg/m^2 sementara pada Gedung II hanya $195,5 \text{ kg/m}^2$. Pengurangan beban mati lantai pada Gedung II tersebut diakibatkan oleh berat sendiri pelat lantai beton ringan aerasi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan pelat lantai beton normal. Disamping itu pada Gedung II proses pemasangan keramik tidak memerlukan hamparan pasir (pasir urug) karena permukaan pelat lantainya sudah rata (*flat*).

4.4. Analisis Struktur Gedung dan Hasil

Tahap analisis struktur gedung menggunakan bantuan *software* SAP2000 yaitu untuk menentukan gaya dalam (momen lentur, gaya lintang dan gaya aksial) serta reaksi perletakan [11]. Namun dari hasil analisis struktur tersebut untuk keperluan perencanaan fondasi yang digunakan hanya reaksi perletakan baik gaya aksial maupun momennya.

Input data meliputi pembebanan (gravitasi dan gempa) yang sudah dihitung sebelumnya, data *section properties* yaitu semua yang berhubungan dengan dimensi elemen struktur yang digunakan meliputi balok, kolom dan pelat, data *material properties* yaitu semua yang berhubungan dengan karakteristik dan mutu material elemen struktur yang digunakan, serta kombinasi pembebanan. Besarnya reaksi perletakan pada Gedung I dan Gedung II disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Besarnya reaksi perletakan pada Gedung I

Koordinat kolom	Joint	Gaya aksial (kN) (DCON 2 = 1,2 D + 1,6L)	Momen (kNm) (DCON 2 = 1,2 D + 1,6L)	Rencana fondasi
(5 , A)	97	736,540	-2,620	Tipe 2
(5 , B)	77	1.003,974	-12,455	Tipe 2
(5 , C)	61	1.346,774	33,695	Tipe 1
(5 , D)	41	1.614,326	50,794	Tipe 1
(5 , E)	25	1.867,321	39,587	Tipe 1
(5 , F)	9	1.500,877	52,759	Tipe 1
(4 , A)	95	980,044	11,556	Tipe 2
(4 , C)	59	885,018	-18,817	Tipe 2
(4 , D)	39	848,986	14,801	Tipe 2
(4 , F)	7	893,486	-9,794	Tipe 2
(3 , A)	93	918,572	-4,293	Tipe 2
(3 , B)	75	1.087,644	0,202	Tipe 2
(3 , C)	57	868,179	-4,767	Tipe 2
(3 , D)	37	869,303	3,384	Tipe 2
(3 , E)	23	1.076,389	-1,618	Tipe 2
(3 , F)	5	922,440	3,474	Tipe 2
(6 , A)	99	873,245	11,903	Tipe 2
(6 , B')	85	918,135	17,793	Tipe 2

Tabel 8. Besarnya reaksi perletakan pada Gedung II

Koordinat kolom	Joint	Gaya aksial terfaktor (kN) (DCON 2 = 1,2 D + 1,6L)	Momen (kNm) (DCON 2 = 1,2 D + 1,6L)	Rencana fondasi
(5 , A)	97	534,842	1,873	Tipe 2
(5 , B)	77	766,813	-3,528	Tipe 2
(5 , C)	61	973,563	15,026	Tipe 1
(5 , D)	41	1.132,574	19,371	Tipe 1
(5 , E)	25	1.349,381	15,545	Tipe 1
(5 , F)	9	1.080,667	20,258	Tipe 1
(4 , A)	95	677,778	8,138	Tipe 2
(4 , C)	59	619,323	-9,393	Tipe 2
(4 , D)	39	594,149	7,694	Tipe 2
(4 , F)	7	600,898	-7,602	Tipe 2
(3 , A)	93	664,323	4,595	Tipe 2
(3 , B)	75	821,458	-0,336	Tipe 2
(3 , C)	57	638,440	-5,864	Tipe 2
(3 , D)	37	636,726	5,289	Tipe 2
(3 , E)	23	809,630	-1,233	Tipe 2
(3 , F)	5	662,929	-4,756	Tipe 2
(6 , A)	99	586,243	5,387	Tipe 2
(6 , B')	85	593,311	7,600	Tipe 2

4.5. Perencanaan Fondasi

4.5.1. Data tanah dan tipe fondasi

Berdasarkan data tanah hasil *soil investigation* berupa *Dutch Cone Penetrometer Test* (tes sondir) diketahui bahwa tanah keras (nilai konus $q_c \geq 150 \text{ kg/cm}^2$) terletak pada kedalaman sekitar 3,00 meter.

Dengan pertimbangan bahwa letak tanah keras relatif dangkal dan kataegori gedung merupakan gedung bertingkat rendah di mana tinggi gedung hanya 3 lantai maka tipe fondasi yang digunakan yaitu jenis fondasi telapak atau *foot plate* [12]. Dasar fondasi akan diletakan pada kedalaman sekitar 2,80 meter.

4.5.2 Tegangan ijin tanah

Pada kedalaman sekitar 2,80 meter dimana fondasi telapak akan diletakan nilai konus (q_c) menunjukan angka sekitar 130 kg/cm^2 . Daya dukung ijin tanah untuk fondasi dangkal dengan sembarang lebar fondasi (B) dapat dihitung langsung dengan rumus sederhana sebagai berikut [13]:

$$\begin{aligned}
 q_a &= \frac{q_c}{40} \\
 &= \frac{130 \text{ kg/cm}^2}{40} \\
 &= 3,25 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 0,3250 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

4.5.3. Gaya aksial pada dasar fondasi

Karena fondasi ditanam pada kedalaman 2,80 meter maka gaya aksial pada dasar fondasi mengalami pertambahan akibat kolom yang tertanam dalam tanah, tanah urugan di atas fondasi telapak dan akibat berat sendiri fondasi telapak

4.5.4. Hasil Perencanaan Struktur Fondasi

Hasil perencanaan struktur fondasi untuk Gedung I dan Gedung II disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Dimensi dan penulangan fondasi Gedung I

Koordinat	Tipe fondasi	Dimensi (m)			Tulangan	
		Lebar (B)	Panjang (L)	Tebal (t)	Arah x	Arah y
(5 , C)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
(5 , D)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
(5 , E)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
(5 , F)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
(10 , C)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
(10 , D)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
(10 , E)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
(10 , F)	Tipe I	2,75	2,75	0,56	D16-125	D16-125
Koor. lain	Tipe II	2,10	2,10	0,42	D16-175	D16-175

Tabel 10. Dimensi dan penulangan fondasi Gedung II

Koordinat	Tipe fondasi	Dimensi (m)			Tulangan	
		Lebar (B)	Panjang (L)	Tebal (t)	Arah x	Arah y
(5 , C)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
(5 , D)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
(5 , E)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
(5 , F)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
(10 , C)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
(10 , D)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
(10 , E)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
(10 , F)	Tipe I	2,40	2,40	0,48	D16-150	D16-150
Koor. Lain	Tipe II	1,80	1,80	0,35	D16-200	D16-200

4.6 Tinjauan Volume Struktur Fondasi

Dari Tabel 9 dan Tabel 10 terlihat bahwa baik pada dimensi dan penulangan fondasi terdapat perbedaan antara Gedung I dan Gedung II, sehingga secara otomatis terjadi selisih volume baik pada kebutuhan beton maupun tulangan. Selisih volume beton diakibatkan karena perbedaan dimensi struktur sedangkan selisih volume tulangan diakibatkan karena perbedaan jarak atau jumlah tulangannya.

Selisih volume beton dan tulangan untuk struktur fondasi Gedung I dan Gedung II disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Selisih volume struktur fondasi Gedung I dan Gedung II

Elemen fondasi	Volume		Pengurangan volume	% pengurangan
	Gedung I	Gedung II		
Beton (m3)	115,38	72,01	43,36	37,58
Tulangan (kg)	11.364,63	6.619,02	4.745,61	41,76

5. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dari penelitian ini antara lain :

1. Penggunaan beton ringan aerasi pada dinding dan pelat lantai mengakibatkan beban dinding dan beban mati lantai menjadi lebih kecil (berkurang), di mana beban dinding pada Gedung I sebesar 850 kg/m dan pada Gedung II berkurang menjadi 425 kg/m atau berkurang sebesar 50%. Sementara untuk beban mati lantai pada Gedung I sebesar 450 kg/m² dan pada Gedung II berkurang menjadi sebesar 195,5 kg/m² atau berkurang sebesar 57%.
2. Karena beban yang bekerja menjadi lebih kecil (berkurang) maka gaya dalam dan reaksi perletakan struktur gedung juga mengalami pengurangan. Reaksi perletakan Gedung I pada fondasi Tipe I adalah sebesar 1.867,321 kN, dan pada fondasi Tipe II adalah sebesar 1.087,644 kN. Sementara reaksi perletakan Gedung II pada fondasi Tipe I adalah sebesar 1.349,381 kN, dan pada fondasi Tipe II adalah sebesar 821,458 kN.
3. Karena reaksi perletakan menjadi berkurang maka dimensi dan penulangan fondasi gedung juga mengalami pengurangan. Dimensi fondasi Gedung I untuk fondasi Tipe I adalah 2,75 x 2,75 x 0,56 m³ dengan penulangan D16-125 (untuk arah X dan arah Y), dan untuk fondasi Tipe II adalah 2,10 x 2,10 x 0,42 m³ dengan penulangan D16-175 (untuk arah X dan arah Y). Sementara dimensi fondasi Gedung II untuk fondasi Tipe I adalah 2,40 x 2,40 x 0,48 m³ dengan penulangan D16-150 (untuk arah X dan arah Y), dan untuk fondasi Tipe II adalah 1,80 x 1,80 x 0,35 m³ dengan penulangan D16-200 (untuk arah X dan arah Y).
4. Karena dimensi dan penulangan menjadi berkurang maka volume beton dan tulangan fondasi gedung juga mengalami pengurangan. Volume fondasi Gedung I adalah 115,38 m³ untuk betonnya dan 11.364,63 kg untuk tulangannya. Sementara volume fondasi Gedung II adalah 72,01 m³ untuk betonnya dan 6.619,02 kg untuk tulangannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Beton Ringan Aerasi Hebel," 2011. www.hebel.co.id
- [2] I. P. Atmojo, S.W. dan Wijaya, "Studi Banding Material Batu Bata dengan Beton Ringan dalam Proses dan aplikasi," Universitas Kristen Petra Surabaya, 2009.
- [3] Hidayat Felix, "Studi Perbangan Biaya Material Pekerjaan Pasangan Dinding Bata Ringan Dengan Bata Merah," *Media Tek. Sipil*, vol. X, 2010, [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33468570/PERBANDINGAN_BATA_MERAH_DAN_BATA_RINGAN-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653500861&Signature=ToN-x2BU48R5IfRn8QI~m7EmtARL8xAa01I7DaLCs6CWhlPOzDSDINJ7ic0w4CbPVvHu9woSukdrTI-3XbtoLIPTYWX79FBTDYxLQwLk~qCsISYmEk5V
- [4] A. Hoedajanto, D. Imran, I. dan Aryanto, *Kajian Eksperimental Kinerja Panel Lantai dan Panel Dinding Hebel*. Seminar dan Pameran HAKI 2007, 2007.
- [5] N. Uddin, M. A. Mousa Dr, and F. H. Fouad, "Impact behavior of hybrid fiber-reinforced polymer (FRP)/autoclave aerated concrete (AAC) panels for structural applications," *Dev. Fiber-Reinforced Polym. Compos. Civ. Eng.*, pp. 247–271, 2013, doi: 10.1533/9780857098955.2.247.
- [6] A. Chaipanich and P. Chindaprasirt, *The properties and durability of autoclaved aerated concrete masonry blocks*. Elsevier Ltd, 2015. doi: 10.1016/B978-1-78242-305-8.00009-7.
- [7] N. Uddin, M. A. Mousa, U. Vaidya, and F. H. Fouad, "Design of hybrid fiber-reinforced polymer (FRP)/autoclave aerated concrete (AAC) panels for structural applications," *Dev. Fiber-Reinforced Polym. Compos. Civ. Eng.*, pp. 226–247, 2013, doi: 10.1533/9780857098955.2.226.
- [8] B. S. Nasional, "SNI 03-1727-1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung," *Jakarta Badan Standarisasi Nas.*, pp. 1–17, 1989.
- [9] W. Wangsadinata, "SNI-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung," *Pus. Penelit. dan Pengembang Teknol. Permukiman.*, vol. 7798393, no. April, p. 63, 2002.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Standar Nas. Indones.*, no. 8, p. 720, 2019, [Online]. Available: www.bsn.go.id.
- [11] H. Pramono, *Tutorial dan Latihan Desain Konstruksi dengan SAP2000*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2007.
- [12] "Jenis-Jenis Pondasi Berdasarkan Kedalamannya," 2015. <https://www.arsitur.com/2015/09/jenis-jenis-pondasi-berdasarkan.html>
- [13] H. H. Ahmad, "Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pondasi Dangkal Dengan Metode L Heminier Dan Meyerhof," *J. Penelit. IPTEKS*, vol. 6, no. 1, pp. 1–5, 2021, doi: 10.32528/ipteks.v6i1.4171.