



ANALISIS PERBEDAAN RESPON STRUKTUR GEDUNG KULIAH BERSAMA UNIVERSITAS AIRLANGGA ANTARA MENGGUNAKAN PELAT KONVENSIONAL dan WAFFLE SLAB

Iqbal Farchansyah Romadloni¹, Prijono Bagus Susanto² dan Mohammad Sulton³

¹Universitas Negeri Malang, iqbalfarchansyah@gmail.com

²Universitas Negeri Malang, prijono.bagus.ft@um.ac.id

³Universitas Negeri Malang, mohammad.sulton.ft@um.ac.id

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan bangunan dalam masyarakat seiring berjalannya waktu serta gencarnya pembangunan menjadi suatu alasan dikembangkannya teknologi konstruksi dan sistem struktur. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.10 tidak hanya elemen struktur kolom yang menahan gaya seismik, akan tetapi elemen struktur pelat dan balok juga ikut berkontribusi menahan gaya seismik. Untuk menghindari pengaruh getaran gempa terhadap suatu struktur diperlukan suatu sistem struktur yang mempunyai kekakuan pelat yang cukup besar. Struktur pelat berusuk (*waffle slab*) dapat menjadi alternatif solusi untuk mereduksi lendutan yang terjadi akibat beban pada struktur gedung bentang lebar. Analisis ini dilakukan dengan membuat 3 pemodelan yakni pemodelan 1-pelat konvensional, pemodelan 2-pelat menggunakan *waffle slab*, dan pemodelan 3-pelat menggunakan *waffle slab* dengan pengurangan kolom. Untuk mempermudah pemodelan maka digunakan bangunan yang sudah ada yakni Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga. Dimana gedung tersebut terdiri dari 11 lantai dan 1 *basement*. Rancangan dalam analisis ini menggunakan program bantu berbasis elemen hingga untuk mencari respons struktur. Kriteria pada analisis ini meliputi: lendutan, gaya geser dasar, periode fundamental struktur dan simpangan antar lantai yang terjadi. Kesimpulan hasil analisa perhitungan pada setiap konfigurasi memiliki respon struktur yang berbeda. *Waffle slab* memiliki lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan sistem pelat konvensional namun masih dalam batas aman. Periode fundamental struktur *waffle slab* lebih besar daripada sistem pelat konvensional. Gaya geser dasar pada *waffle slab* lebih kecil dibandingkan sistem pelat konvensional. Simpangan antar lantai sistem *waffle slab* lebih besar dibandingkan dengan pelat konvensional.

Kata kunci: *Waffle slab*, respon struktur, lendutan, simpangan

1. Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan bangunan dalam masyarakat seiring berjalannya waktu serta gencarnya pembangunan menjadi suatu alasan dikembangkannya teknologi konstruksi dan sistem struktur. Perkembangan teknologi dan sistem struktur pada bangunan dapat dimanfaatkan untuk membantu melakukan analisis dan menentukan jenis sistem struktur yang akan diterapkan. Meskipun sistem struktur sudah semakin berkembang, namun perencanaan suatu gedung biasanya tetap menggunakan metode konvensional.

Sistem struktur merupakan gabungan dari elemen struktur yang cukup rumit secara 3 dimensi. Memikul beban secara aman dan efektif merupakan fungsi dari sistem struktur, baik beban arah horizontal maupun beban arah vertikal. Guna memperkuat suatu bangunan sehingga diperoleh kekakuan yang maksimal maka dikembangkanlah suatu sistem struktur. Sistem konvensional umumnya digunakan pada suatu bangunan, yakni pelat beton bertumpu pada balok induk dan balok anak (Negara, 2017). *Waffle slab* merupakan salah satu tipe pelat lantai yang terdiri dari beberapa balok yang menyatu pada bidang horizontal dan saling menyilang, gaya yang bekerja pada pelat tegak lurus terhadap bidang horizontal serta mempunyai titik hubung yang bersifat kaku. Salah satu keuntungan penggunaan *waffle slab* sebagai pelat lantai adalah memiliki kontrol terhadap getaran yang baik. Hal ini sangat menguntungkan apabila digunakan pada bangunan yang membutuhkan kontrol getaran yang tinggi. Selain itu, *waffle slab* dapat digunakan pada bentang panjang, memiliki defleksi lantai yang kecil, dan beratnya ringan. Susanti dkk (2016) melakukan penelitian dengan

membandingkan pelat konvensional dan pelat berusuk dua arah (*waffle slab*). Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa *waffle slab* dapat mengurangi nilai lendutan rata-rata sebesar 200% dibanding dengan pelat konvensional, serta jarak antar kolom lebih panjang 66,67% dengan menggunakan *waffle slab*. Berdasarkan beberapa sumber di atas, maka diperlukan kajian terkait sistem struktur *waffle slab*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan respons struktur antara sistem pelat konvensional dengan sistem *waffle slab* dilihat atas segi lendutan yang terjadi dan respons struktur bangunan yakni, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, serta periode fundamental struktur. Dalam analisis ini model gedung dipakai yakni Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga. Gedung tersebut memiliki perencanaan struktur gedung 12 lantai. Struktur pelat pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga masih menggunakan pelat konvensional, dimana pada lantai 1 terdapat fasilitas parkir kendaraan yang memiliki beban relatif tinggi sehingga untuk mereduksi defleksi diperlukan banyak kolom dan menebalkan pelatnya. Pada lantai 9 terdapat ruang serbaguna dengan kapasitas besar sehingga diperlukan penebalan pada pelatnya. Dengan mengubah struktur pelat konvensional menjadi *waffle slab* diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan dimensi pelat yang lebih tipis dengan kekakuan yang lebih besar, sehingga dapat mengurangi lendutan pada pelat dan respons struktur yang terjadi. Pada penelitian ini *waffle slab* dikombinasikan dengan *solid head*, dimana *solid head* sendiri dapat berfungsi untuk meningkatkan kekuatan geser pada pelat. Pada lantai 9 ruang serbaguna menghilangkan kolom yang awalnya berjarak 8,1 m menjadi berjarak 16,2 m akan berpengaruh terhadap pelat dan kolom sehingga perlu dilakukan penelitian terkait hal tersebut.

2. Metode

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini membandingkan respons struktur, lendutan dan nilai simpangan yang terjadi pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga antara pelat konvensional dan *waffle slab* menggunakan program bantu berbasis elemen hingga ETABS 2018 untuk memudahkan dalam pengelolaan data. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data gedung yang diteliti kemudian melakukan pemodelan. Pemodelan akan dibuat menjadi tiga tipe pemodelan yakni gedung dengan pelat konvensional yang selanjutnya disebut pemodelan 1, gedung dengan menggunakan *waffle slab* yang selanjutnya disebut sebagai pemodelan 2, dan gedung dengan menggunakan *waffle slab* serta menghilangkan beberapa kolom yang selanjutnya disebut sebagai pemodelan 3, pada pemodelan dikarenakan menghilangkan beberapa kolom maka sebelum melakukan analisis akan dilakukan pengecekan terkait ketidakberaturan struktur.

Kombinasi pembebanan yang sama akan diaplikasikan pada ketiga pemodelan, yakni beban mati, beban hidup, beban angin serta beban gempa. Nilai beban merujuk SNI 1727:2020 yakni pembebanan minimum dalam perancangan bangunan serta SNI 1726:2019 yakni tata cara perencanaan ketahanan gempa. Perencanaan struktural mengacu pada SNI 2847:2019 agar sesuai dengan syarat.

Hasil *output* dari pemodelan 3 dimensi dengan bantuan ETABS 18 berupa gaya dalam struktur, gaya geser dasar, periode fundamental struktur, lendutan, serta simpangan antar lantai. Kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan dari hasil *output* analisis.

2.2. Data Penelitian

Bangunan yang dimodelkan dalam penelitian ini terletak di wilayah Surabaya. Bangunan berfungsi sebagai gedung perkuliahan yang memiliki 12 lantai dengan tinggi lantai tipikal 4,4m. Dalam bangunan ini akan di analisa penggunaan Waffle Slab pada gedung yang sama. Untuk mutu tulangan memakai $f_y = 420$ MPa sebagai tulangan utama serta $f_y = 280$ MPa pada tulangan sengkang, sedangkan mutu beton pada setiap elemen strukturnya yang digunakan untuk penelitian ini sebagai dasar pemodelan adalah

Tabel 2.1 Data Properti Material

Material	Elemen Struktur	Lantai	Mutu Beton f_c'	Modulus Elastisitas
Beton	Kolom dan Dinding Beton	Lt. Dasar sampai Lt. Atap Dak	25 MPa	23500 Mpa
	Balok dan Plat	Lt. Dasar sampai Lt. Atap Dak	25 MPa	23500 Mpa

Sumber: Data Proyek

Elemen struktur untuk pelat konvensional menggunakan dimensi eksisting pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga, data dimensi elemen struktur dapat dilihat pada tabel 2.2 sampai tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.2 Data Dimensi Pelat

Elemen Struktur	Lantai	Tipe	Tebal (mm)	Mutu Beton f_c'
Pelat	Lt. Dasar - Lt. 8	S1	120	25 MPa
		S2	130	25 MPa
	Lt. 9 - Roof Top	S1	120	25 MPa
		S2	130	25 MPa
		S3	150	25 MPa

Sumber: Data Proyek

Tabel 2.3 Data Dimensi Kolom

Elemen Struktur	Lantai	Tipe	Dimensi (mm)	Mutu Beton f_c'
Kolom	Lt. Dasar - Lt. 1	K1-A, K1-B	1000 x 1000	25 MPa
	Lt. 1 - Lt. 3	K2-A, K2-B	900 x 900	25 MPa
	Lt. Dasar - Lt. 3	K3	400 x 400	25 MPa
	Lt. Dasar - Lt. 3	K4	200 x 200	25 MPa
	Lt.3 - Lt. 5	K2-C	900 x 900	25 MPa
	Lt. 3 - Lt. 7	K3-A	400 x 400	25 MPa
	Lt. 5 - Lt. 7	K2-D	900 x 900	25 MPa
	Lt. 5 - Lt. 7	K2-E	900 x 900	25 MPa
	Lt. 7 - Lt. 9	K2-E	900 x 900	25 MPa
	Lt.9 - Roof Top	K2-F	900 x 900	25 MPa
	Lt.7 Roof Top	K3-B	400 x 400	25 MPa
	Lt. Atap - Roof Top	K5	300 x 300	25 MPa

Sumber: Data Proyek

Tabel 2.4 Data Dimensi Balok

Elemen Struktur	Tipe	Dimensi (mm)	Mutu Beton f_c'
Balok	B1	400 x 800	25 MPa
	B2	400 x 750	25 MPa
	B3	350 x 700	25 MPa
	B4	350 x 650	25 MPa
	B5	300 x 600	25 MPa
	B6	250 x 450	25 MPa
	B7	200 x 400	25 MPa
	B8	200 x 300	25 MPa

Sumber: Data Proyek

2.3. Pemodelan Struktur

Dalam tahap pemodelan yakni elemen struktur Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga. Berbagai data dimensi gedung memakai data berasal dari dimensi eksisting dan penentuan beban kerja meliputi beban mati, beban hidup, beban angin serta beban gempa terkait SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Struktur pelat lantai akan dimodelkan tiga kali, kemudian akan dilakukan analisis struktur untuk mencari lendutan, periode fundamental struktur, gaya geser dasar, serta simpangan antar lantai.

2.4. Analisa Struktur

Analisa dilaksanakan dengan mendesain struktur gedung pada *software* ETABS 18 yakni balok, kolom, pelat lantai sesuai data yang dipakai. Penelitian ini memakai metode simulasi numerik menggunakan program bantu. Berikut penjelasan tahapan analisis menggunakan *software* berbasis elemen hingga.

2.5. Input Data

Beberapa tahapan input data pada *software* ETABS 18 diantaranya yaitu pembuatan *grid*, mendefinisikan material, merencanakan dimensi elemen, memodelkan elemen, pembebanan, serta melakukan analisa struktur.

2.6. Output Data

Output data dari *software* ETABS 18 agar lebih mudahnya dibuat tabulasi. Dari data hasil analisis akan diketahui dari 3 pemodelan manakah yang lebih aman dan jika hasil belum memenuhi ketentuan SNI yang berlaku maka akan dilakukan *preliminary* desain kembali terhadap *waffle slab*.

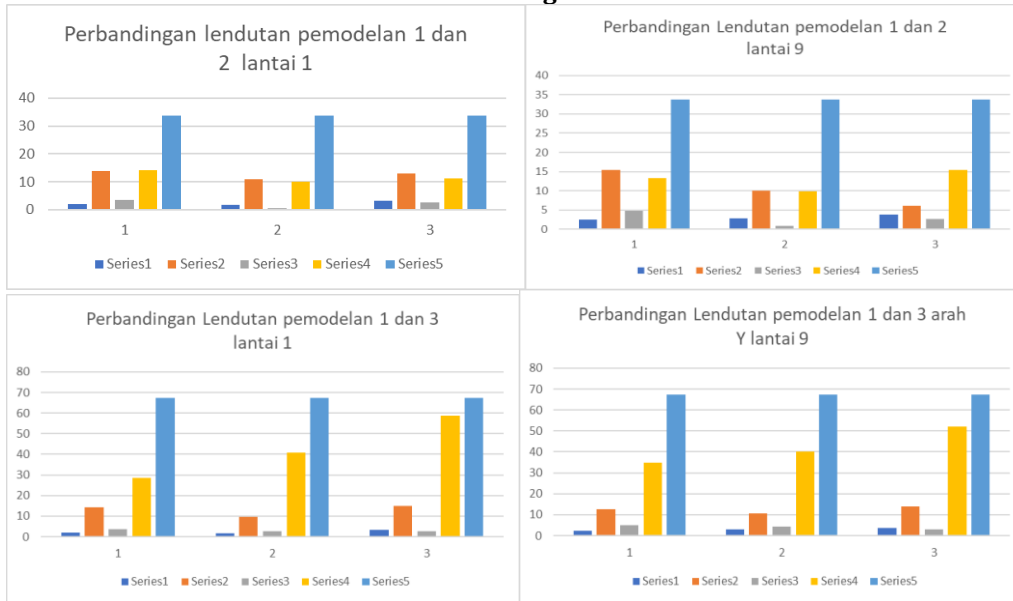
3. Hasil

Hasil analisis menjelaskan tentang perhitungan yang telah dilakukan pada pemodelan 1 sampai 3. Dalam analisis tersebut memasukkan data-data bangunan yang telah di input dalam program bantu berbasis elemen hingga untuk memperoleh respon struktur bangunan kemudian data diolah dan mendapatkan kesimpulan

3.1. Lendutan

Lendutan pada pelat dapat terjadi akibat beban-beban yang bekerja, lendutan diperhitungkan agar tidak terjadinya kegagalan struktur. Lendutan ijin pada suatu elemen struktur ditentukan berdasar SNI 2847:2019 pasal 24.2.2. Lendutan ijin dibatasi $L/240$ dikarenakan elemen struktur diasumsikan memikul atau disatukan dengan elemen – elemen non struktural. nilai lendutan ijin pada bentang 8,1 meter adalah $8100/240 = 33,75$ mm, sedangkan pada bentang 16,2 meter adalah $16200/240 = 67,5$ mm. Nilai lendutan yang terjadi dari masing-masing pemodelan masih dibawah nilai lendutan ijin, dengan ini dapat dikatakan elemen struktur balok baik pada sistem konvensional maupun *waffle slab* aman dan mampu memikul beban yang ada. Pada gambar 3.1 dibawah ini ditunjukkan perbandingan nilai lendutan di setiap pemodelan.

Gambar 3.1 Perbandingan nilai lendutan



Sumber: penulis

3.2. Kekuatan Kolom

Pada pemodelan 3 beberapa kolom dihilangkan, dikarenakan terjadi perubahan bentang maka perlu adanya peninjauan terhadap kekuatan kolom. *Waffle slab* meninjau pelat dan kolom melakukan rekayasa agar tidak terjadi *overstress* pada kolom sehingga dilakukan desain ulang dengan ukuran kolom alternatif 1200 x 1200, sehingga *overstress* tidak lagi terjadi.

3.3. Gaya Geser Dasar Seismik

Berikut hasil *output* Gaya Geser Dasar Seismik pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga yang dilakukan pada semua pemodelan dari ETABS dapat dilihat di tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Seismik

Pemodelan	V _{dinamik X} (kN)	V _{dinamik Y} (kN)	V _{dinamik X} peskalaan (kN)
Pemodelan 1	8002,87	8873,84	9258.91
Pemodelan 2	7995,007	9517,53	9258.91
Pemodelan 3	8413,73	10766,82	9258.91

Sumber: Penulis

Berdasarkan tabel 3.1 perbandingan nilai gaya geser dasar pemodelan 2 terhadap pemodelan 1 adalah 0,99 untuk arah X dan 1,072 untuk arah Y, sedangkan perbandingan nilai gaya geser dasar pemodelan 3 terhadap pemodelan 1 adalah 1,05 untuk arah X dan 1,21 untuk arah Y. nilai gaya geser dasar dinamik arah X masing-masing pemodelan tidak memenuhi, maka diperlukan peskalaan gaya agar nilai dari gaya geser dinamik arah X masing-masing pemodelan memenuhi persyaratan. Untuk pemodelan 1 nilai gaya geser dasar arah X dikalikan dengan 1.157, untuk pemodelan 2 dikalikan dengan 1.158 sedangkan untuk pemodelan 3 dikalikan 1.1005.

3.4. Periode Fundamental Struktur

Ketentuan untuk menghitung periode fundamental struktur mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 bahwa periode fundamental struktur (T_c) pada gedung tidak boleh melebihi periode fundamental ijin (T_{maks}). Berikut tabel 3.2 hasil pengecekan nilai periode pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga pada semua pemodelan.

Tabel 3.2 Rekapitulasi Periode Fundamental Struktur

Pemodelan	Tc (detik)
Pemodelan 1	2,794
Pemodelan 2	2,822
Pemodelan 3	2,974

Berdasarkan tabel 3.2 nilai dari periode fundamental struktur melebihi nilai dari periode fundamental struktur melebihi nilai dari periode fundamental ijin. Hal ini dapat diartikan bahwa struktur dari 3 pemodelan yang dilakukan masih terlalu lentur.

3.5. Simpangan antar lantai

Kontrol simpangan antar lantai dilakukan pada setiap pemodelan. Di tabel 3.3 hingga 3.8 akan ditunjukkan hasil analisis simpangan berdasarkan output dari ETABS.

Tabel 3.3 Rekapitulasi Simpangan Arah X Pemodelan 1

Lantai	h m	Simpangan mm	$\delta 1$ mm	simpangan antar lantai mm	Simpangan Ijin mm	KET
Lantai Dak	4.4	100.027	366.77	13.96	66	OKE
Lantai 10	4.4	96.221	352.81	19.01	66	OKE
Lantai 9	4.4	91.037	333.80	24.23	66	OKE
Lantai 8	4.4	84.43	309.58	30.06	66	OKE
Lantai 7	4.4	76.233	279.52	35.67	66	OKE
Lantai 6	4.4	66.505	243.85	40.66	66	OKE
Lantai 5	4.4	55.416	203.19	44.77	66	OKE
Lantai 4	4.4	43.206	158.42	47.45	66	OKE
Lantai 3	4.4	30.265	110.97	47.14	66	OKE
Lantai 2	4.4	17.408	63.83	36.05	66	OKE
Lantai 1	5.9	7.577	27.78	27.78	88.5	OKE
Base	0	0.00	0.00	0.00	0	OKE

Tabel 3.4 Rekapitulasi Simpangan Arah Y Pemodelan 1

Lantai	h m	Simpangan mm	$\delta 1$ mm	simpangan antar lantai mm	Simpangan Ijin mm	KET
Lantai Dak	4.4	99.279	364.02	11.11	66	OKE
Lantai 10	4.4	96.248	352.91	19.57	66	OKE
Lantai 9	4.4	90.912	333.34	24.43	66	OKE
Lantai 8	4.4	84.25	308.92	29.69	66	OKE
Lantai 7	4.4	76.153	279.23	34.74	66	OKE
Lantai 6	4.4	66.678	244.49	39.43	66	OKE
Lantai 5	4.4	55.925	205.06	43.61	66	OKE
Lantai 4	4.4	44.032	161.45	46.77	66	OKE
Lantai 3	4.4	31.276	114.68	47.39	66	OKE
Lantai 2	4.4	18.351	67.29	41.47	66	OKE
Lantai 1	5.9	7.04	25.81	25.81	88.5	OKE
Base	0	0.00	0.00	0.00	0	OKE

Tabel 3.5 Rekapitulasi Simpangan Arah X Pemodelan 2

Lantai	h	Simpangan	$\delta 1$	simpangan antar lantai	Simpangan Ijin	KET
	m	mm	mm	mm	mm	
Lantai Dak	4.4	107.165	392.94	15.52	66	OKE
Lantai 10	4.4	102.932	377.42	22.57	66	OKE
Lantai 9	4.4	96.776	354.85	28.86	66	OKE
Lantai 8	4.4	88.906	325.99	32.46	66	OKE
Lantai 7	4.4	80.053	293.53	37.22	66	OKE
Lantai 6	4.4	69.902	256.31	41.95	66	OKE
Lantai 5	4.4	58.46	214.35	46.06	66	OKE
Lantai 4	4.4	45.897	168.29	48.99	66	OKE
Lantai 3	4.4	32.536	119.30	49.31	66	OKE
Lantai 2	4.4	19.087	69.99	42.48	66	OKE
Lantai 1	5.9	7.501	27.50	27.50	88.5	OKE
Base	0	0.00	0.00	0.00	0	OKE

Tabel 3.6 Rekapitulasi Simpangan Arah Y Pemodelan 2

Lantai	h	Simpangan	$\delta 1$	simpangan antar lantai	Simpangan Ijin	KET
	m	mm	mm	mm	mm	
Lantai Dak	4.4	101.746	373.07	11.15	66	OKE
Lantai 10	4.4	98.704	361.91	20.97	66	OKE
Lantai 9	4.4	92.984	340.94	26.30	66	OKE
Lantai 8	4.4	85.811	314.64	30.53	66	OKE
Lantai 7	4.4	77.485	284.11	35.20	66	OKE
Lantai 6	4.4	67.884	248.91	39.76	66	OKE
Lantai 5	4.4	57.04	209.15	43.93	66	OKE
Lantai 4	4.4	45.06	165.22	47.17	66	OKE
Lantai 3	4.4	32.195	118.05	48.09	66	OKE
Lantai 2	4.4	19.08	69.96	43.02	66	OKE
Lantai 1	5.9	7.347	26.94	26.94	88.5	OKE
Base	0	0.00	0.00	0.00	0	OKE

Tabel 3.7 Rekapitulasi Simpangan Arah X Pemodelan 3

Lantai	h	Simpangan	$\delta 1$	simpangan antar lantai	Simpangan Ijin	KET
	m	mm	mm	mm	mm	
Lantai Dak	4.4	117.50	430.83	13.27	66	OKE
Lantai 10	4.4	113.88	417.56	21.15	66	OKE
Lantai 9	4.4	108.11	396.41	28.05	66	OKE
Lantai 8	4.4	100.46	368.36	35.30	66	OKE
Lantai 7	4.4	90.84	333.07	41.39	66	OKE
Lantai 6	4.4	79.55	291.68	46.67	66	OKE
Lantai 5	4.4	66.82	245.01	51.10	66	OKE

Lantai 4	4.4	52.88	193.91	54.29	66	OKE
Lantai 3	4.4	38.08	139.62	55.09	66	OKE
Lantai 2	4.4	23.05	84.53	49.54	66	OKE
Lantai 1	5.9	9.54	34.98	34.98	88.5	OKE
Base	0	0.00	0.00	0.00	0	OKE

Tabel 3.8 Rekapitulasi Simpangan Arah Y Pemodelan 3

Lantai	h	Simpangan	$\delta 1$	simpangan antar lantai	Simpangan Ijin	KET
	m	mm	mm	mm	mm	
Lantai Dak	4.4	105.135	385.50	10.19	66	OKE
Lantai 10	4.4	102.355	375.30	20.04	66	OKE
Lantai 9	4.4	96.89	355.26	25.82	66	OKE
Lantai 8	4.4	89.847	329.44	31.68	66	OKE
Lantai 7	4.4	81.206	297.76	36.82	66	OKE
Lantai 6	4.4	71.164	260.93	41.47	66	OKE
Lantai 5	4.4	59.855	219.47	45.65	66	OKE
Lantai 4	4.4	47.406	173.82	48.95	66	OKE
Lantai 3	4.4	34.055	124.87	50.04	66	OKE
Lantai 2	4.4	20.409	74.83	45.72	66	OKE
Lantai 1	5.9	7.941	29.12	29.12	88.5	OKE
Base	0	0.00	0.00	0.00	0	OKE

Berdasarkan tabel 3.3 sampai 3.8 nilai dari simpangan antar lantai yang terjadi dari masing-masing pemodelan masih dibawah nilai simpangan ijin. Hal ini dapat diartikan bahwa elemen struktur dari masing-masing pemodelan aman.

4. PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan atas hasil penelitian maka akan dibahas untuk masing-masing pemodelan. Hasil dari pembahasan merupakan acuan untuk menarik sebuah kesimpulan dimana untuk mencari respon struktur yang maksimal dari masing-masing pemodelan.

4.1. Lendutan

Berdasarkan hasil analisis lendutan pada pemodelan 1, pemodelan 2 dan pemodelan 3 dapat disimpulkan bahwa nilai lendutan dari masing-masing pemodelan masih dibawah nilai lendutan ijin yakni 33,75 mm untuk bentang 8,1 meter dan 67,5 mm untuk bentang 16,2 meter , berdasarkan hal tersebut masing-masing pemodelan dinyatakan aman. Akan tetapi nilai dari lendutan maksimum yang terjadi pada struktur dengan menggunakan waffle slab yakni pemodelan 2 dan pemodelan 3 lebih besar daripada pelat konvensional yakni pemodelan 1. Hasil ini tidak relevan dengan penelitian Susanti (2016) dimana waffle slab dapat mereduksi lendutan sebesar 200% dan Hilmi (2019) yang menyatakan bahwa lendutan pelat konvensional 14,60% lebih besar dari waffle slab, hal ini disebabkan karena dalam penelitian Susanti (2016) dan Hilmi (2019) tidak memperhitungkan beban angin dan gempa yang mana nilainya sangat berpengaruh ditambah dengan perubahan pada SNI 1926-2019 yang menambahkan nilai keamanan yang lebih besar. . Dimensi dan jarak antar balok rusuk pada waffle slab sudah sesuai dengan persyaratan yang ada pada SNI 2847-2019. Menurut Priyanto (2012) Momen dan beban pada sistem waffle slab di kedua arah bentangan didistribusikan secara merata dikarenakan terdapat rusuk pada waffle slab. Karena banyaknya rusuk tersebut struktur menjadi tambah berat sehingga lendutan yang terjadi pada waffle slab lebih besar.

4.2. Periode Fundamental Struktur

Nilai periode fundamental struktur diperhitungkan karena semakin kecil nilai getar maka bangunan tersebut dirancang semakin kaku. Berdasarkan hasil analisis terhadap periode fundamental struktur, diperoleh nilai periode (T_c) dari pemodelan 1, pemodelan 2 dan pemodelan 3 melebihi periode ijin (T_{maks}), hal tersebut dapat diartikan bahwa struktur bangunan masih lentur. Nilai periode fundamental struktur pada bangunan Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga dengan sistem waffle slab yakni pada pemodelan 2 dan 3 lebih besar dibandingkan dengan sistem konvensional yakni pada pemodelan 1. Nilai periode pemodelan 2 1,002% lebih besar dibandingkan pemodelan 1 sedangkan nilai periode pemodelan 3 6,44% lebih besar dari pemodelan 1. Sidabutar (2017) dalam penelitiannya menyatakan bahwa nilai periode fundamental struktur waffle slab lebih kecil dari pada pelat lainnya. Hasil penelitian ini tidak sejalan dengan penelitian sebelumnya, hal ini dipengaruhi oleh tidak adanya diafragma vertikal seperti dinding geser pada struktur Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga.

4.3. Gaya Geser Dasar

Berdasarkan hasil analisis gaya geser dasar seismik pemodelan 1, pemodelan 2 dan pemodelan 3 didapatkan hasil gaya geser dinamik arah X kurang dari 100% gaya geser statik arah X. Nilai gaya geser dasar dinamik arah X masing-masing pemodelan tidak memenuhi, maka diperlukan peskalaan gaya agar nilai dari gaya geser dinamik arah X masing-masing pemodelan memenuhi persyaratan yang ada pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.1. Untuk pemodelan 1 nilai gaya geser dasar arah X dikalikan dengan 1.157, untuk pemodelan 2 dikalikan dengan 1.158 sedangkan untuk pemodelan 3 dikalikan 1.1005. Perbandingan nilai gaya geser dasar pemodelan 2 0,098% lebih kecil daripada pemodelan 1 untuk arah X dan lebih besar 7% untuk arah Y, sedangkan perbandingan nilai gaya geser dasar pemodelan 3 5% lebih besar daripada pemodelan 1 untuk arah X dan 21% lebih besar untuk arah Y. Sidabutar (2017) dalam penelitiannya menyatakan bahwa nilai gaya geser dasar yang terjadi pada waffle slab lebih besar daripada pelat lainnya. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana nilai gaya geser dasar seismik sistem waffle slab yakni pada pemodelan 2 dan pemodelan 3 lebih besar dari pada gaya geser dasar seismik pelat konvensional yakni pada pemodelan 1. Hal ini dipengaruhi oleh berat total struktur yang dimiliki waffle slab lebih berat daripada pelat konvensional.

4.4. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai perlu dihitung sebagai perbedaan defleksi di pusat massa pada tingkatan paling atas dan paling bawah yang dipantau. Dari hasil analisis permodelan 1, pemodelan 2 dan pemodelan 3 didapatkan hasil ketiga pemodelan masih kurang dari nilai simpangan ijin. Perbandingan nilai simpangan antar lantai maksimum yang terjadi antara pemodelan 2 dan pemodelan 1 pada arah X nilai simpangan antar lantai maksimum pemodelan 2 19% lebih besar dari pada simpangan arah X pemodelan 1, sedangkan simpangan arah Y pemodelan 2 8% lebih besar daripada simpangan arah Y pemodelan 1. Perbandingan simpangan antara pemodelan 3 dan pemodelan 1 pada arah X 37% lebih besar daripada pemodelan 1 sedangkan pada arah Y 13% dibandingkan pemodelan 1. Rupidara (2022) dalam penelitiannya menyatakan simpangan antar lantai *waffle slab* lebih besar dibandingkan dengan sistem pelat konvensional. Hasil dari penelitian ini sejalan dengan penelitian yang ada sebelumnya. Hal ini dimungkinkan karena sistem pelat konvensional lebih kaku dibandingkan dengan sistem *waffle slab*.

5. Simpulan

Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga dibangun memakai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus serta masih memakai pelat konvensional. Pada konsep bangunan tahan gempa tidak hanya kolom yang menahan beban gempa, akan tetapi pelat dan balok juga berkontribusi menahan gaya gempa. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan tentang perbandingan antara pelat konvensional dan *waffle slab*, bisa disimpulkan bahwa.

- a) Perbandingan nilai lendutan yang terjadi antara pemodelan 1 dan pemodelan 2 di lantai 1 lendutan arah X sistem *waffle slab* 6 kali lebih besar daripada pelat konvensional

sedangkan untuk arah Y sistem *waffle slab* memiliki lendutan 23 kali lebih besar dari pelat konvensional. Di lantai 9 lendutan arah X sistem *waffle slab* 5 kali lebih besar daripada sistem pelat konvensional. Sedangkan untuk pemodelan 1 dan 3 nilai perbandingan lendutan yang terjadi pada lantai 1 arah X sistem *waffle slab* memiliki lendutan 6 kali lebih besar daripada sistem pelat konvensional sedangkan untuk arah Y sistem *waffle slab* memiliki lendutan 20 kali lebih besar daripada sistem pelat konvensional. Di lantai 9 nilai lendutan yang terjadi pada arah X sistem *waffle slab* 4 kali lebih besar dibandingkan dengan pelat konvensional sedangkan untuk arah Y sistem *waffle slab* memiliki lendutan 16 kali lebih besar daripada pelat konvensional.

- b) Nilai periode fundamental struktur Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga sistem *waffle slab* memiliki nilai periode yang lebih besar daripada sistem pelat konvensional yakni pada pemodelan 2 memiliki periode 1,002% lebih besar dibandingkan sistem pelat konvensional sedangkan pada pemodelan 3 memiliki periode 6,44% lebih besar dibandingkan pemodelan 1 yang menggunakan sistem pelat konvensional.
- c) Gaya geser dasar seismik pemodelan 2 arah X 0,098% lebih kecil sedangkan pada arah Y 7% lebih besar dibandingkan dengan pemodelan 1. Pada pemodelan 3 nilai gaya geser dasar seismik arah X 5% lebih besar sedangkan pada arah Y 21% lebih besar dibandingkan pemodelan 1.
- d) Perbandingan nilai simpangan antar lantai maksimum yang terjadi antara pemodelan 2 dan pemodelan 1 pada arah X nilai simpangan antar lantai maksimum pemodelan 2 19% lebih besar dari pada simpangan arah X pemodelan 1, sedangkan simpangan arah Y pemodelan 2 8% lebih besar daripada simpangan arah Y pemodelan 1. Perbandingan simpangan antara pemodelan 3 dan pemodelan 1 pada arah X 37% lebih besar daripada pemodelan 1 sedangkan pada arah Y 13% dibandingkan pemodelan 1.
- e) Pemodelan 3 memenuhi aman dari lendutan dan simpangan sedangkan untuk nilai gaya geser dasar dan periode fundamental strukturnya belum memenuhi dan berdasarkan peninjauan terhadap kekuatan kolom beberapa kolom pada pemodelan 3 mengalami *overstressed*.

Daftar Rujukan

- Asroni, A. (2010). Balok dan Pelat Beton Bertulang. In *Graha Ilmu*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerja Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerja Umum.
- Ghanchi, N., & Chitra, V. (2014). Waffle Slab - Analysis By Different Methods. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(12), 71–74.
- Lasut, R.H. (2017). *Analisa Efektivitas Penempatan Dinding Geser Pada Gedung Mercantile Plaza Tangerang Dengan Perencanaan Sistem Ganda*.
- Muliadi ; Afifuddin, M., & Budi Aulia, T. (2017). *Analisis Simpangan Antar Lantai Pada Bangunan Menggunakan Base Isolator Di Wilayah Gempa*. 25(4), 25–34.
- Nasution, A. (2009). *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. ITB Bandung.
- Negara, L. A. T. (2017). *Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Hotel Amarsvati Lombok Dengan Sistem Waffle Slab With Band Beam*.
- Pamungkas, A., Harianti, E. (2018). *Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Yogyakarta: Andi.
- Pradhana, R.A. (2019). *Analisis Perbandingan Respon Struktur Antara Penggunaan Pelat Konvensional Dengan Flat Slab Terhadap Gaya Gempa Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang*.
- Priyanto, K. J. (2012). *Kajian Kekuatan Pada Struktur Balok Grid Persegi*.
- Riza, M.M. (2014). *Aplikasi Perencanaan Gedung Dengan Etabs*. www.PerencanaanStruktur.com.
- Rupidara, Y.A. (2022). *Analisis Perbandingan Kinerja Seismik dari Struktur Gedung dengan Pelat Konvensional, Waffle Slab, dan Flat Slab*.
- Setiawan, A. (2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2103*. Erlangga.
- Shanan, A.G..M.Y..J. (2017). *Flat Grid Or Waffle System*. <https://www.slideshare.net/agawade34/flat-grid-waffle-slab>

- Sidabutar, D.H. (2017). *Analisa Perbandingan Pelat Diafragma Dengan Sistem Flat Slab, Plate, Waffle Slab Pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Terhadap Pengaruh Kekakuan Struktur*.
- Susanti, E., Youlanda, N. A., & Winaya, A. (2016). *Studi Perbandingan Pelat Berusuk Dua Arah (Waffle Slab) Dan Pelat Konvensional*. 20(1), 25–36.
- Tavio., Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta: Andi.