

ANALISIS RESPON STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG TAKBERATURAN DENGAN PENAMBAHAN TINGKAT MENGUNAKAN STRUKTUR BAJA

Noldy T. Koli¹ (noldykoli27@gmail.com)

Jusuf J. S. Pah² (yuserpbdaniel@yahoo.com)

Tri M. W. Sir³ (trimwsir@yahoo.com)

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui respon struktur beton bertulang akibat penambahan tingkat menggunakan struktur baja yang ditinjau berdasarkan *base shear*, *displacement* dan *interstory drift*. Bangunan gedung tak beraturan awalnya didesain sebagai struktur beton bertulang, kemudian divariasikan menjadi 4 model struktur dengan menambahkan jumlah tingkat menggunakan struktur baja. Struktur bangunan dimodelkan secara 3D menggunakan aplikasi ETABS versi 2016 dan dianalisis dengan metode analisis *response spectrum*. Hasil penelitian menunjukkan besar respon struktur yang terjadi pada keempat model struktur pada arah x dan arah y akibat penambahan tingkat menggunakan struktur baja berada pada kisaran 356,337 kN - 405,090 kN untuk *base shear*, 10,37 mm - 46,206 mm untuk *displacement* dan 33,23 mm - 72,55 mm untuk *interstory drift*. Besar nilai *base shear*, *displacement* dan *interstory drift* yang terjadi pada penelitian kali ini lebih besar dibanding penelitian sebelumnya kecuali pada nilai *interstory drift* arah y. Hal ini disebabkan karena selisih nilai *displacement* antar tingkat cukup besar sehingga mempengaruhi besar nilai *interstory drift* yang terjadi.

Kata Kunci: *Respon Struktur, Struktur Gabungan Beton-Baja, Tak Beraturan, Respons Spectrum*

ABSTRACT

This research conducted to find the structure response of reinforcement concrete structure with the addition of story using steel frame that reviewed based on base shear, displacement, and inter-story drift. The uniform building structure originally designed as the reinforcement concrete structure, then variated to 4 models structure with adding story with using steel structure. Building structure is modeled in 3D with ETABS verse 2016 application and analyzed with response spectrum analysis method. The result of this research shows the structure response that occurred on four structures models in axis x and axis y due to the addition of levels using steel structures were in the range of 356.337 kN - 405.090 kN for base shear, 10.37 mm - 46.206 mm for displacement and 33.23 mm - 72.55 mm for inter-story drift. If the difference between displacement value are large, that will cause the value of inter-story drift more increasing and so as otherwise. The values of base shear, displacement, and inter-story drift that occurred on this research were bigger than previous research except for the value of inter-story drift in the axis y. This could happen because the difference between level displacement values is large enough to affect the amount of inter-story drift that occurs.

Key Words: *structure response, concrete-steel combined structure, uniform, response spectrum*

¹ Prodi Teknik Sipil, FST Undana (penulis korespondensi);

² Prodi Teknik Sipil, FST Undana;

³ Prodi Teknik Sipil, FST Undana.

PENDAHULUAN

Hal-hal yang mungkin menjadi pertimbangan dalam perubahan rencana pembangunan struktur suatu gedung antara lain terkait dengan kegiatan operasional bangunan, jangka waktu pengerjaan maupun kondisi keuangan pemilik (Kono et al., 2021). Perubahan perencanaan struktur bangunan dapat berupa perubahan terhadap jumlah tingkat/lantai struktur bangunan yang awalnya direncanakan menggunakan struktur beton bertulang namun pada pembangunan selanjutnya akan ditambahkan jumlah lantainya menggunakan struktur baja (Kono et al., 2021).

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Kono et al., 2021) diperoleh bahwa nilai *base shear* yang terjadi pada arah x dan arah y adalah sama untuk model struktur awal (CS30) yakni sebesar 225,713, namun setelah ditambahkan tingkat menggunakan struktur baja diperoleh nilai *base shear* maksimum sebesar 1049 kN untuk arah x dan 1688,689 kN untuk arah y. Hal yang sama juga terjadi pada nilai *displacement* dan *interstory drift*. Nilai *displacement* yang terjadi model struktur awal (CS30) pada arah x dan arah y adalah sama yakni sebesar 0,0031 m, namun setelah ditambahkan tingkat menggunakan struktur baja diperoleh nilai *displacement* maksimum sebesar 0,0094 m untuk arah x dan 0,0276 m untuk arah y. Lalu untuk nilai *interstory drift* yang terjadi untuk model struktur awal (CS30) pada arah x dan arah y adalah sama yakni sebesar 0,0081 m, namun setelah ditambahkan tingkat menggunakan struktur baja diperoleh nilai *interstory drift* maksimum sebesar 0,0530 m untuk arah x dan 0,0143 untuk arah y. Berdasarkan penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa respon struktur yang terjadi pada struktur beton bertulang beraturan akan mengalami peningkatan apabila ada penambahan tingkat menggunakan struktur baja bila dibandingkan dengan struktur beton bertulang beraturan tanpa penambahan tingkat menggunakan struktur baja. Pada penelitian kali ini, peneliti tertarik untuk mengambil topik tentang ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Alasan peneliti tertarik untuk mengambil topik ini adalah karena penulis ingin melihat bagaimana perilaku atau respon struktur yang terjadi apabila terdapat variabel ketidakberaturan horizontal sudut dalam dalam suatu struktur.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Bangunan Gedung Bertingkat

Menurut (Kowalczyk, 1995), Bangunan gedung adalah bentuk fisik dari hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempatnya (kedudukannya).

Struktur pada bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan struktur bawah (Kowalczyk, 1995), yaitu:

Struktur atas adalah struktur yang berada di atas tanah, contohnya lantai, atap dan dinding.

Struktur bawah adalah struktur yang berada di bawah muka tanah, contohnya struktur basemen atau struktur pondasi.

Oleh karena itu, struktur utama bangunan disebut juga system struktur penahan beban horizontal atau lateral *load resisting system* (Pawirodikromo, 2012)

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pembangunan gedung bertingkat (Coull, 1991):

1. Beban pada gedung
2. Kekuatan dan stabilitas
3. Kekakuan dan batas drift
4. Kenyamanan (Serviceability)

5. Rangkak, susut dan temperatur
6. Pencegahan dan perlindungan dari kebakaran
7. Pondasi dan jenis tanah

Metode Analisis Perhitungan Beban Gempa

Metode analisis yang digunakan dalam perhitungan beban gempa dengan analisis dinamik respon spektrum kota Kupang mengacu pada (SNI 1726:2019, 2019) tentang perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

Struktur Beton dan Struktur Baja

Pada penelitian ini menggunakan dua jenis komponen struktur yang berbeda yakni beton dan baja

Ketidakteraturan Gedung Menurut SNI 1726-2019

Ketidakteraturan Horizontal Sudut Dalam

Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.

Pembebanan

Pembebanan merupakan faktor penting dalam merancang struktur. Untuk itu, dalam merancang struktur perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Struktur bangunan dikatakan aman dan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi (beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup) (PPIUG, 1983) dan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan berupa studi perencanaan gedung struktur beton bertulang dengan penambahan tingkat menggunakan struktur baja dengan ketidakteraturan horizontal sudut dalam. Terdapat 4 model struktur yang didesain dan akan dibandingkan untuk respon struktur bangunan yang terjadi akibat adanya penambahan tingkat menggunakan struktur baja dengan ketidakteraturan horizontal sudut dalam.

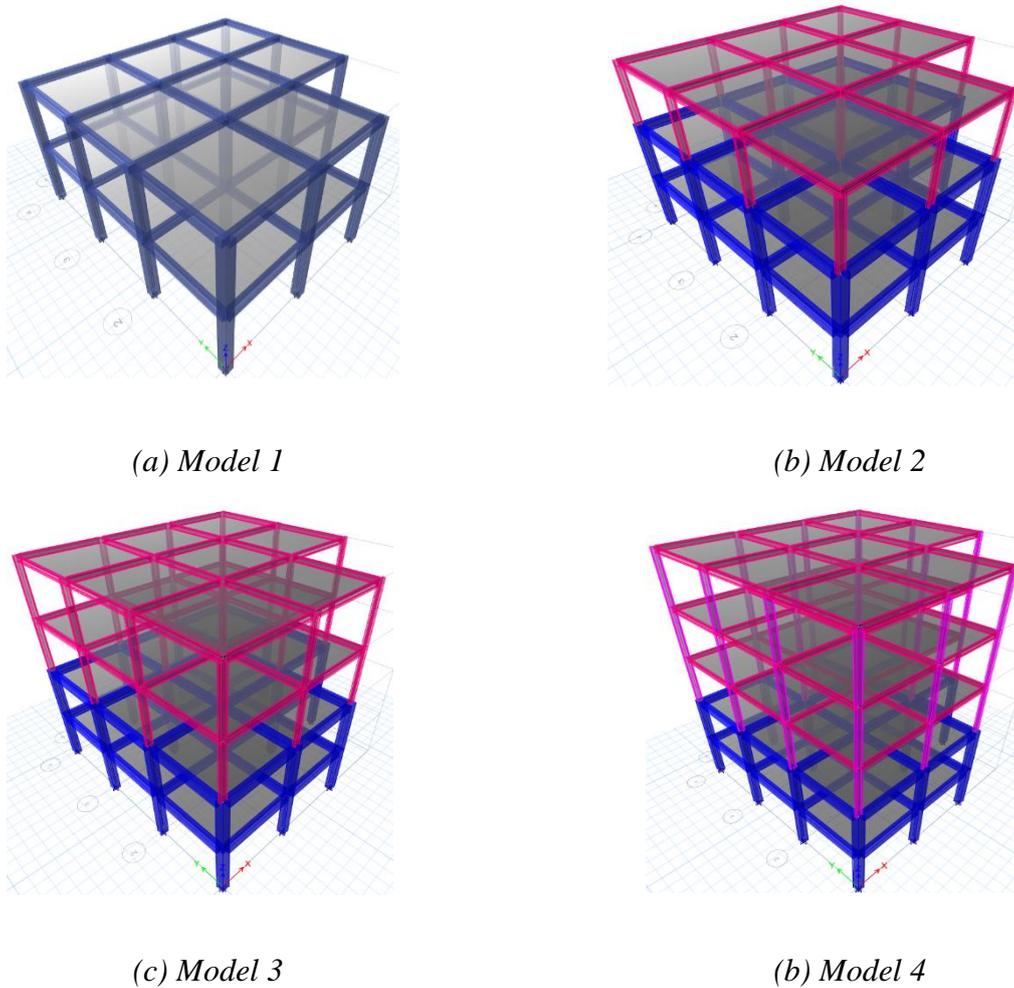
Langkah-Langkah Teknik Analisis Data

1. Menentukan data mutu material bangunan dan data beban yang bekerja pada struktur.
2. Membuat pemodelan struktur dengan 4 model struktur gedung yang berbeda menggunakan software ETABS 2016.
3. Mendefinisikan material dan dimensi struktur beton dan baja (kolom dan balok) serta plat ke dalam software Etabs 2016.
4. Menginput beban hidup (*live load*), beban mati tambahan (*super dead load*), beban gempa, dan kombinasi pembebanan ke software ETABS 2016.
5. Melakukan analisis struktur dengan software ETABS 2016.
6. Melakukan kontrol pola ragam gerak struktur dan kontrol partisipasi massa.
7. Melakukan analisis gempa statik ekuivalen dan analisis gempa dinamik (respon spektrum kota Kupang).

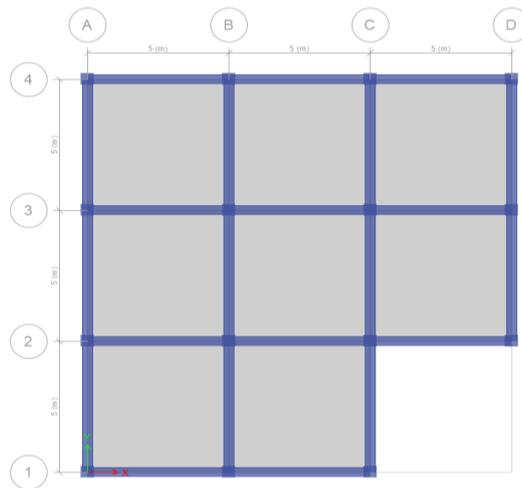
8. Melakukan analisis struktur (*running analysis*).
9. Melakukan kontrol respon struktur kontrol gaya geser (*base shear*), perpindahan (*displacement*) dan simpangan antar lantai (*interstory drift*).
10. Membandingkan hasil respon struktur terhadap gaya geser (*base shear*), perpindahan (*displacement*) dan simpangan antar lantai (*interstory drift*) terhadap 4 model gedung yang berbeda.
11. Membuat kesimpulan dan saran.

Langkah-Langkah Teknik Analisis Data

Pada penelitian ini terdapat 4 model strujtur gedung dengan ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Denah gedung dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 1. Model Struktur Yang Dianalisis



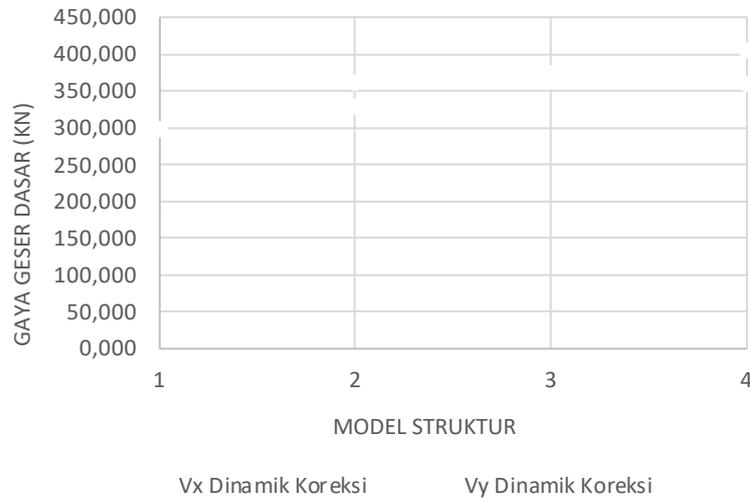
Gambar 2. Layout Denah Keempat Model Struktur

Data-data yang digunakan adalah sebagai berikut:

Fungsi gedung	= Perkantoran
Jenis struktur	= Beton bertulang'
Sistem struktur	= SRPMK
Jenis tanah	= Tanah keras
Letak wilayah	= Kota Kupang
Tingkat bangunan (H)	= 20 m
Jumlah lantai (n)	= 5 lantai
Tinggi masing-masing lantai	= 4,00 m
Jumlah bentang	= 3 bentang untuk arah x dan arah y
Panjang masing-masing bentang	= 5,00 m
Struktur bangunan	= Beton bertulang dan struktur baja
Dimensi kolom beton (b/h)	= 0,45 m / 0,45 m
Dimensi balok beton (b/h)	= 0,35 m / 0,55 m
Dimensi kolom baja (WF)	= WF 350 x 175 x 7 x 11 mm
Dimensi balok baja (WF)	= WF 350 x 175 x 7 x 11 mm
Tebal plat lantai beton bertulang (h)	= 0,12 m
Tebal plat bondek (h)	= 0,12 m
Mutu beton (f_c')	= 20,75 MPa
Mutu baja tulangan	
– Tulangan Longitudinal (f_y)	= 410 MPa
– Tulangan Transversal (f_{ys})	= 240 MPa
Mutu baja struktural	
– f_y	= 240 MPa
– f_u	= 370 MPa

HASIL DAN PEMBAHASAN

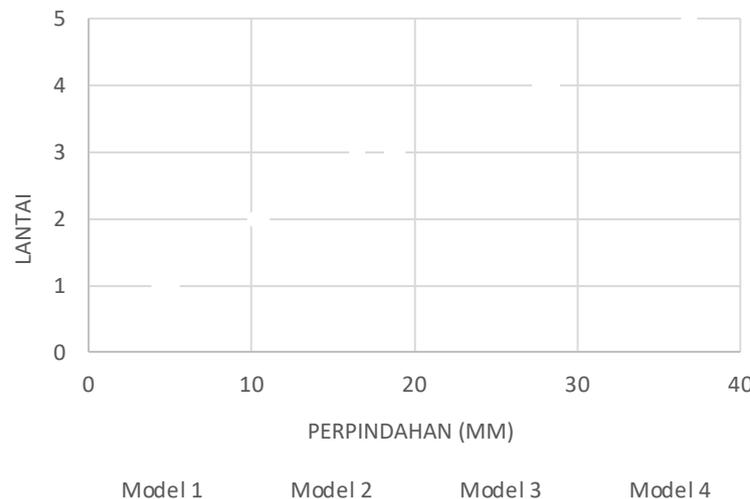
Base Shear



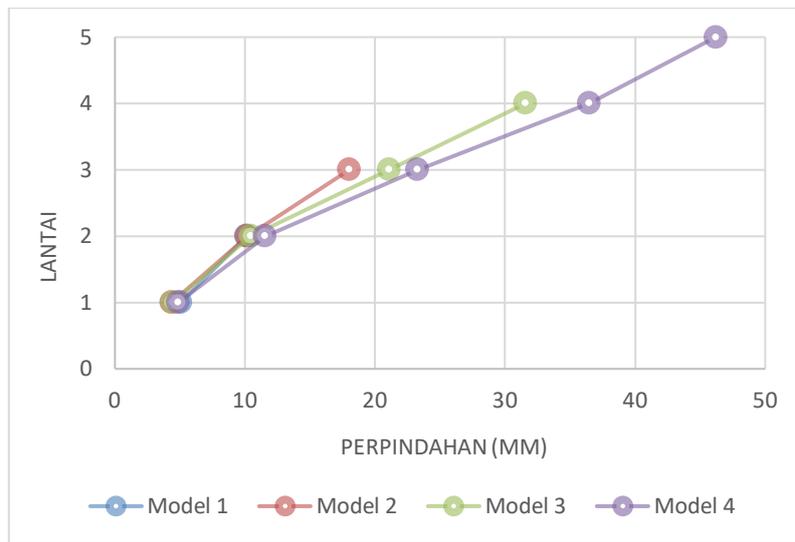
Gambar 3. Grafik nilai base shear yang terjadi pada ke-4 model struktur (arah X dan arah Y)

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa besar nilai *base shear* yang terjadi pada model struktur dengan penambahan 1 tingkat menggunakan struktur baja (Model 2) pada arah x dan y nilainya lebih besar dibandingkan dengan struktur beton bertulang tanpa penambahan tingkat menggunakan struktur baja (Model 1). Namun setelah ditambahkan tingkatan lagi menggunakan struktur baja, nilai dari *base shear* yang terjadi cenderung mengalami penurunan pada arah x namun mengalami peningkatan pada arah y.

Displacement



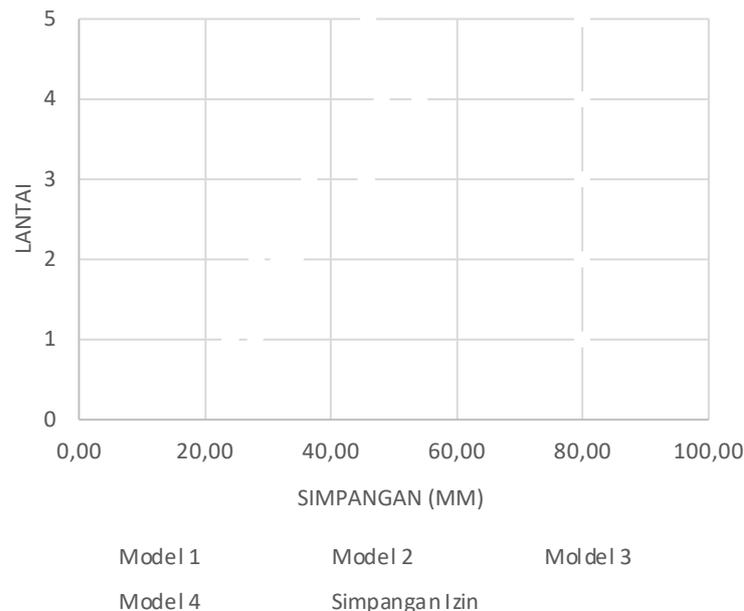
Grafik nilai displacement (arah X)



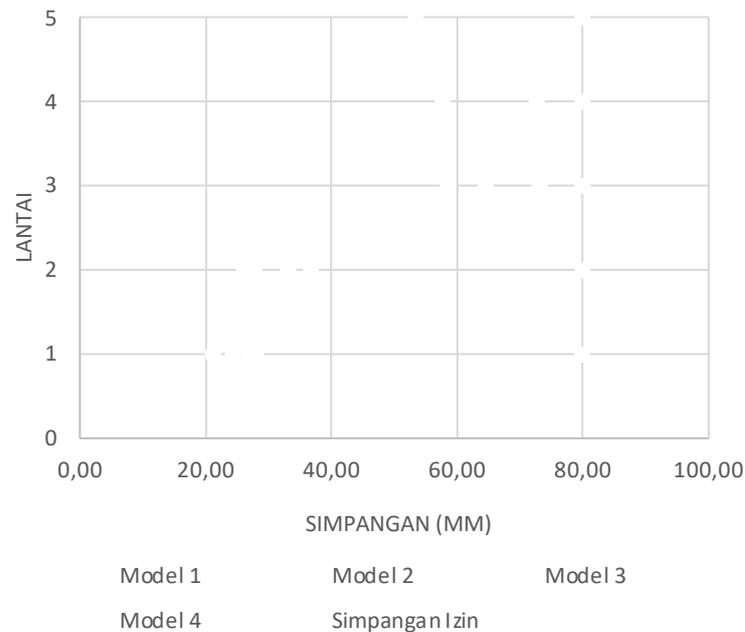
Grafik nilai displacement (arah Y)

Gambar 4. Grafik nilai displacement (arah X dan arah Y)

Dari Gambar 3 – Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada model 1 yang merupakan struktur beton bertulang 2 lantai, besar displacement yang terjadi tidak berbeda jauh atau bisa dikatakan hampir sama untuk arah X dan arah Y. Namun hal yang berbeda terjadi pada model 2,3 dan 4 yang merupakan struktur beton bertulang 2 lantai dengan penambahan 1,2 dan 3 tingkat menggunakan struktur baja yang cenderung memiliki nilai displacement yang lebih besar pada arah Y dibandingkan dengan arah X pada tingkatan yang sudah ditambahkan dengan struktur baja. Hal ini tidak akan berpengaruh pada perpindahan lateral (displacement) maupun simpangan antar lantai (interstory drift) karena tingkat kekakuan (stiffness) dari profil struktur baja (WF) yang digunakan sudah memenuhi rasio keterpenuhan (capacity ratio < 0,9) sehingga dapat menahan gaya gempa desain tingkat (F) yang terjadi dan pengaruh dari adanya ketidakberaturan sudut dalam yang ada.



Gambar 5-a Grafik nilai interstory drift (arah X)



Gambar 5-b. Grafik nilai interstory drift (arah Y)

Pengaruh Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Terhadap Respon Struktur Yang Terjadi

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, perilaku gerak struktur (pola ragam) untuk keempat model struktur yang didesain memiliki presentase pola gerak struktur yang cenderung berdeformasi pada sumbu translasi arah x dan arah y untuk mode 1 dan 2, sedangkan untuk mode 3 lebih dominan berdeformasi pada sumbu rotasi arah z (Lampiran 4). Pada penelitian ini terdapat variabel tambahan yakni ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Dengan adanya tambahan variabel ketidakberaturan horizontal sudut dalam pada keempat model struktur yang didesain akan menyebabkan tingkat kekakuan struktur menjadi lebih rendah. Hal ini dapat dilihat pada besarnya deformasi yang terjadi pada setiap tingkatan struktur yang didesain akan semakin besar apabila jumlah mode-nya ditingkatkan (Lampiran 8). Ratio ketidakberaturan horizontal sudut dalam yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 15%, hal ini yang menyebabkan nilai *displacement* yang terjadi menjadi semakin besar. Sebab semakin besar ratio ketidakberaturan sudut dalam yang ada pada suatu struktur, maka akan semakin besar pula nilai *displacement* yang terjadi akibat tingkat kekakuan struktur yang semakin menurun (Lampiran 7). Semakin besar selisih antar nilai *displacement* yang terjadi maka akan semakin besar pula nilai *interstory drift* yang akan diperoleh dan begitu pula sebaliknya.

KESIMPULAN

1. Nilai gaya geser dasar (*base shear*) terbesar yang terjadi pada struktur beton bertulang akibat penambahan tingkat menggunakan struktur baja sebelum di *redesign* adalah pada model 2 sebesar 365,673 kN untuk arah x dan 359,299 kN untuk arah y, sedangkan nilai gaya geser dasar terkecil adalah pada model 4 sebesar 346,351 kN arah x dan 346,354 kN untuk arah y. Setelah di *redesign* nilai gaya geser dasar terbesar juga terjadi pada model 2 sebesar 374,029 kN untuk arah x dan untuk arah y terjadi pada model 4 sebesar 405,090 kN, sedangkan nilai gaya geser dasar terkecil adalah pada model 3 sebesar 356,337 kN untuk arah x dan untuk arah y terjadi pada model 2 sebesar 346,741 kN.

Nilai perpindahan lateral (*displacement*) terbesar yang terjadi pada struktur beton bertulang akibat penambahan tingkat menggunakan struktur baja sebelum di *redesign* adalah pada model 4 sebesar 39,306 mm untuk arah x dan 59,760 mm untuk arah y, sedangkan nilai

perpindahan lateral terkecil adalah pada model 2 sebesar 18,366 mm untuk arah x dan 24,214 mm untuk arah y. Setelah di *redesign* nilai perpindahan lateral terbesar juga terjadi pada model 2 sebesar 36,823 mm untuk arah x dan 46,206 mm untuk arah y, sedangkan nilai perpindahan lateral terkecil adalah pada model 2 sebesar 16,472 mm untuk arah x dan 18,022 mm untuk arah y.

Nilai simpangan antar lantai (*interstory drift*) terbesar yang terjadi pada struktur beton bertulang akibat penambahan tingkat menggunakan struktur baja sebelum di *redesign* adalah pada model 4 sebesar 61,52 mm untuk arah x dan 115,86 mm untuk arah y, sedangkan nilai simpangan antar lantai terkecil adalah pada model 2 sebesar 24,10 mm untuk arah x dan 22,57 mm untuk arah y. Setelah di *redesign* nilai perpindahan lateral terbesar juga terjadi pada model 2 sebesar 53,99 mm untuk arah x dan 72,55 mm untuk arah y, sedangkan nilai perpindahan lateral terkecil adalah pada model 2 sebesar 16,472 mm untuk arah x dan 18,022 mm untuk arah y.

2. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, perilaku gerak struktur (pola ragam) untuk keempat model struktur yang didesain memiliki presentase pola gerak struktur yang cenderung berdeformasi pada sumbu translasi arah x dan arah y untuk mode 1 dan 2, sedangkan untuk mode 3 lebih dominan berdeformasi pada sumbu rotasi arah z (Lampiran 4). Pada penelitian ini terdapat variabel tambahan yakni ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Dengan adanya tambahan variabel ketidakberaturan horizontal sudut dalam pada keempat model struktur yang didesain akan menyebabkan tingkat kekakuan struktur menjadi lebih rendah. Hal ini dapat dilihat pada besarnya deformasi yang terjadi pada setiap tingkatan struktur yang didesain akan semakin besar apabila jumlah mode-nya ditingkatkan (Lampiran 8). Ratio ketidakberaturan horizontal sudut dalam yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 15%, hal ini yang menyebabkan nilai *displacement* yang terjadi menjadi semakin besar. Sebab semakin besar ratio ketidakberaturan sudut dalam yang ada pada suatu struktur, maka akan semakin besar pula nilai *displacement* yang terjadi akibat tingkat kekakuan struktur yang semakin menurun (Lampiran 7). Semakin besar selisih antar nilai *displacement* yang terjadi maka akan semakin besar pula nilai *interstory drift* yang akan diperoleh dan begitu pula sebaliknya. Besar nilai *interstory drift* yang diperoleh dari analisis ternyata melebihi nilai simpangan izin yang disarankan. Hal ini disebabkan karena dimensi profil baja yang digunakan berdasarkan data dari penelitian sebelumnya memiliki tingkat kekakuan yang rendah (terlampau langsing) sehingga tidak mampu menahan beban-beban yang bekerja. Hal inilah yang menyebabkan kontrol terhadap simpangan izin menjadi tidak terpenuhi sehingga mengakibatkan kegagalan pada struktur yang didesain, oleh karena itu harus dilakukan *redesign* terhadap dimensi profil baja struktural yang akan dipakai yakni menggunakan profil baja dengan dimensi yang lebih besar (memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi) agar dapat menahan beban-beban yang diterima sehingga tingkat keamanan dari struktur yang didesain dapat terjaga. Setelah dilakukan *redesign* menggunakan profil dengan dimensi lebih besar, diperoleh bahwa selisih antar nilai *displacement* yang terjadi menjadi semakin kecil dibandingkan dengan yang sebelumnya. Hal ini berdampak pula pada nilai *interstory drift* yang didapat juga akan semakin kecil dibandingkan dengan yang sebelumnya, sebab selisih nilai *displacement* cukup berpengaruh terhadap nilai *interstory drift* yang terjadi (Tabel 4.45 - Tabel 4.52). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pemilihan dimensi profil baja struktural yang akan dipakai berpengaruh terhadap besar respon struktur yang terjadi.
3. Perbandingan output grafik respon struktur (*base shear*, *displacement* dan *interstory drift*) dengan penelitian sebelumnya hanya dilakukan terhadap 3 model struktur saja yakni Model 1,2 dan 3. Sedangkan untuk Model 4 tidak akan dibandingkan karena Model 4 merupakan analisis tambahan yang dilakukan untuk melihat bagaimana respon struktur yang terjadi apabila ditambahkan 1 tingkat lagi menggunakan struktur baja. Berdasarkan pembahasan pada bab 4, dapat disimpulkan bahwa besar nilai respon struktur (*base shear*, *displacement*

dan *interstory drift*) yang terjadi pada penelitian kali ini lebih besar dibanding dengan penelitian sebelumnya kecuali pada nilai *interstory drift* arah y. Hal ini disebabkan karena selisih nilai perpindahan (*displacement*) antar tingkat yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya cukup besar sehingga mempengaruhi besar nilai *interstory drift* yang terjadi. Pada penelitian kali ini juga ditemukan bahwa dimensi profil baja yang digunakan pada penelitian sebelumnya tidak memenuhi beberapa kontrol analisis yang ada, oleh sebab itu harus dilakukan redesign profil baja struktural agar dapat memenuhi kontrol analisis yang ada.

Daftar Pustaka

- Coull, S. and A. (1991). *Tall Building Structures: Analysis and Design* (1st ed.). Wiley-Interscience.
[https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2014845](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2014845)
- Kono, H. A., Simatupang, P. H., & Ramang, R. (2021). Analisis Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Beraturan Dengan Penambahan Tingkat Menggunakan Struktur Baja. *JURNAL FORUM TEKNIK SIPIL (J-ForTekS)*, 1(2), 36–47.
<https://doi.org/10.35508/forteks.v1i2.4847>
- Kowalczyk, T. M. (1995). *Structural Systems for Tall Buildings*. New York: McGRAW-HILL.INC., 1995. https://perpustakaan.ft.unram.ac.id/index.php?p=show_detail&id=3560
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi teknik & rekayasa kegempaan* (P. Belajar (ed.)). Pustaka Pelajar : Yogyakarta., 2012.
<https://scholar.google.co.id/citations?user=PmgbvXUAAAAJ&hl=id>
- PPIUG. (1983). *Peraturan-Pembebanan-Indonesia-1983* (pp. 3–32).
- SNI 1726:2019. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Bsn*, 8, 254.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini adalah bahagian dari tugas akhir kesarjanaan pada prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana, maka kepada prodi Teknik Sipil, para dosen pembimbing dan dosen penguji serta teman-teman seperjuangan yang telah berkontribusi bagi berhasilnya, baik penelitian ini maupun publikasinya, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Lampiran : Rekap Nilai Kekakuan dan Displacement

Tabel 1. Nilai Kekakuan dan Displacement Ke-4 Model Struktur

Model	Lantai	Kekakuan (kN/m)		Displacement (mm)	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	2	56605,245	57120,028	10,209	10,117
	1	92907,967	93692,497	5,091	5,069
2	3	25627,386	12071,146	16,599	18,295
	2	63308,377	64589,420	10,512	10,321
	1	108935,431	111412,747	4,520	4,429
3	4	18125,705	14795,777	27,653	31,577
	3	30133,069	21897,362	18,928	21,092
	2	59299,883	61530,104	10,627	10,455
	1	108313,956	109427,968	4,389	4,443
4	5	15807,586	14068,648	36,823	46,206
	4	20052,598	15140,427	28,460	36,477
	3	28174,513	20809,476	18,644	23,287
	2	59410,790	61163,926	10,370	11,553
	1	108512,098	108734,141	4,334	4,880

