



Analisis Struktur Baja dengan Perhitungan Beban Gempa Menggunakan Metode *Time History* Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1729:2015

G. Turu'allo^{a*} dan A.H. Anggara^a

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km 9, Palu 94118, Indonesia

*Corresponding author's e-mail: turu'allo@yahoo.co.uk

Received: 17 January 2023; revised: 1 February 2023; accepted: 15 February 2023

Abstract: The selection of material types used in designing a building is one of essential parts since every type of material consisted of different elements. One of primary materials in constructing building structure is steel. The use of steel has been implemented in most building structures nowadays for its high performance of ductility compared to concrete and wood. Ductility is an important requirement to achieve building structure that is resistant to earthquake. In this thesis, there will be an elaboration of an earthquake resistant and steel structured building. The designed building will be a five-floor office configured by an organized structure. The steel framework system of specialized moment loader is used as structure system of earthquake resistance and analysed using time history method. The steel material used has A36 grade ($f_y = 250$ MPa; $f_u = 400$ MPa), and the concrete grade $f'_c = 30$ MPa. The preparation process results in a design of an earthquake steel resistant structure building that meets the requirement of intersection between each floor and the maximum intersection value occurs on second floor with 93,5 mm where the legal supposed intersection has been valued on 95 mm. The dimension of structure element used is profile block W 14 x 6,75 x 38 for the x-axis and W 16 x 7 x 40 for y-axis. It also has 12 cm of plate thickness on every level with profile column of Wx14x16x283.

Keywords: material selection, ductility, organized structure, SRPMK, time history analysis, dimension of structure element

Abstrak: Pemilihan jenis material yang akan digunakan dalam mendesain sebuah gedung merupakan salah satu tahapan penting mengingat bahwa setiap jenis material memiliki sifat yang berbeda-beda. Salah satu material utama yang dapat digunakan untuk pembangunan struktur bangunan adalah material baja. Penggunaan struktur baja pada saat ini telah banyak digunakan pada struktur bangunan, dikarenakan material baja memiliki daktilitas yang cukup tinggi dibandingkan dengan beton maupun kayu, dimana daktilitas merupakan syarat utama dalam mendesain struktur tahan gempa. Dalam tulisan ini, akan direncanakan suatu gedung struktur baja tahan gempa. Struktur gedung yang direncanakan merupakan kantor bertingkat 5 (lima), dengan konfigurasi struktur didesain sebagai struktur beraturan. Sistem rangka baja pemikul momen khusus (SRPMK) digunakan sebagai sistem struktur penahan beban gempa dengan besarnya beban gempa dianalisis menggunakan metode *time history*. Material baja yang digunakan ialah mutu A36 ($f_y = 250$ MPa; $f_u = 400$ MPa), beton dengan $f'_c = 30$ MPa. Proses perencanaan kemudian menghasilkan suatu desain gedung struktur baja tahan gempa yang memenuhi syarat simpangan antar lantai, dengan simpangan antar lantai maksimum terjadi pada tingkat 2 yaitu sebesar 93,5 mm yang kurang dari simpangan antar lantai ijin sebesar 95 mm. Dimensi elemen struktur yang digunakan ialah balok profil W 14 x 6,75 x 38 untuk balok arah sumbu X dan balok profil W 16 x 7 x 40 untuk balok arah sumbu Y, Plat dengan ketebalan 12 cm serta kolom dengan profil Wx14x16x283 yang diseragamkan untuk semua tingkat.

Kata kunci: pemilihan jenis material, daktilitas, struktur beraturan, SRPMK, analisis time history, dimensi elemen struktur

1. Pendahuluan

Secara Geografis Indonesia terletak di antara pertemuan tiga lempeng besar Bumi, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan lempeng Indo-Australia [1-3]. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat resiko gempa yang sangat tinggi. Gempa bumi menyebabkan banyaknya rumah tinggal, perkantoran, rumah sakit dan fasilitas umum lainnya rusak. Secara umum kerusakan struktur bangunan yang tidak memenuhi standar bangunan tahan gempa. Banyaknya rumah tinggal contohnya, dibangun tanpa dukungan perhitungan teknis dan hanya mengandalkan pengalaman di lapangan. Terdapat suatu indikasi bahwa masyarakat tidak mau menggunakan jasa konsultan teknis dalam proses pembangunan rumah tinggal. Maka dari itu pemerintah Indonesia harus ketat dalam pengawasan dan memberikan izin untuk membangun rumah tinggal maupun fasilitas umum lainnya [4].

Salah satu material utama yang dapat digunakan untuk pembangunan struktur bangunan adalah material baja. Penggunaan struktur baja pada saat ini telah banyak digunakan pada struktur bangunan, dikarenakan material baja memiliki daktilitas yang cukup tinggi dibandingkan dengan beton maupun kayu. Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk ber deformasi dalam keadaan tidak elastis tanpa kehilangan kekuatan. Selain memiliki daktilitas yang cukup tinggi, baja juga memiliki kelebihan yang lainnya seperti mudah dilaksanakan di lapangan, hal itu menyebabkan penggunaan material baja pada struktur utama bangunan semakin berkembang [5-7].

Perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung telah diatur dalam SNI 1729:2015. Pada SNI 1729:2015 juga diklasifikasikan beberapa macam sistem struktur penahan gempa, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SPRMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Prinsip perencanaan yang digunakan dalam SNI

1729:2015 adalah “*Strong Column Weak Beam*”. Dalam tulisan ini akan direncanakan bangunan struktur baja bertingkat tahan gempa dengan konfigurasi struktur sebagai struktur beraturan. Tujuannya agar dapat diperoleh suatu desain struktur baja tahan gempa sesuai dengan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012 yang mengacu pada AISC-LRFD [8-12].

1.1 Struktur Gedung

Secara umum, struktur bangunan gedung dapat digolongkan dalam 2 (dua) jenis, yaitu *engineered buildings* dan *non-engineered buildings*. *Engineered buildings* adalah semua gedung yang dirancang, dibangun dan diawasi pembangunannya oleh arsitek dan atau ahli teknis. Sedangkan *non-engineered buildings* adalah bangunan yang pada proses perencanaan, pembangunan dan pelaksanaannya tidak melibatkan arsitek dan atau ahli teknis. Dalam praktek pembangunan rumah masyarakat pada umumnya di Indonesia, bangunan rumah tinggal merupakan jenis bangunan *non-engineered buildings* [13-15].

1.2 Struktur Gedung Tahan Gempa

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan struktur tahan gempa khususnya bangunan gedung, berkaitan dengan pengaruhnya terhadap kinerja struktur saat menerima beban gempa. Disebutkan dalam SNI 1726:2012 secara garis besar ada tiga hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan gedung tahan gempa, antara lain [10]:

1) Beban gempa rencana

Beban gempa rencana adalah beban yang merepresentasikan gaya gempa yang didesain bekerja pada suatu struktur gedung. Besarnya beban gempa rencana ditentukan oleh peruntukan bangunan, jumlah tingkat, berat total bangunan dan lokasi bangunan tersebut didirikan (berkaitan dengan zona gempa). Selain itu, kondisi tanah di lokasi pembangunan gedung juga berpengaruh terhadap besaran beban gempa rencana.

2) Konfigurasi gedung

Konfigurasi gedung mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap perilaku struktur dalam menerima beban gempa. Bagian dari konfigurasi gedung yang paling berpengaruh adalah sifat geometrisnya, dimana sifat geometris inilah yang menentukan struktur diklasifikasikan sebagai struktur beraturan atau tidak beraturan. Menurut SNI 1726-2012, syarat geometris dari suatu struktur gedung untuk diklasifikasikan sebagai struktur beraturan memiliki denah yang simetris dalam arah horizontal dan arah vertikal.

3) Daktilitas struktur

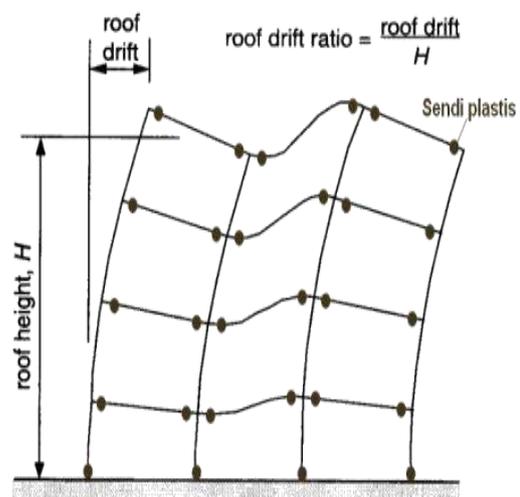
Daktilitas struktur adalah kemampuan struktur untuk terus berdeformasi plastis saat menerima beban yang melampaui batas elastisnya. Daktilitas ini memungkinkan perencanaan gedung yang ekonomis, tetap tidak runtuh mendadak saat terjadi gempa kuat. Daktilitas struktur sangat bergantung kepada tipe sistem

penahan gempa yang digunakan pada struktur tersebut. Karena setiap sistem penahan gempa memiliki tingkat deformasi yang berbeda sesuai dengan prinsip kerjanya dan karakteristik material yang digunakan. Tentunya dalam merencanakan struktur yang tahan gempa dan mampu bekerja secara optimal, pada prinsipnya harus memenuhi kriteria desain. Kriteria desain tersebut tidak hanya mencakup aspek-aspek teknis namun juga berkaitan dengan performa struktur pada setiap level pembebanan.

Filosofi desain yang paling umum diterapkan dalam perancangan struktur tahan gempa yaitu konsep desain kapasitas. Dalam konsep desain kapasitas, mekanisme pemancaran energi gempa menjadi tinjauan utama dalam perancangan struktur gedung. Pada dasarnya tujuan konsep ini untuk menunjukkan bagaimana pengendalian terbentuknya sendi plastis terhadap elemen struktur. Terbentuknya sendi plastis ini kemudian diharapkan mampu untuk memancarkan sekaligus membatasi energi gempa yang masuk ke sistem struktur melalui deformasi inelastis yang cukup besar tanpa mengalami keruntuhan, sementara elemen struktur lainnya harus direncanakan agar lebih kuat dari sendi plastis yang dapat terjadi.

Melalui mekanisme pemancaran energi ini, suatu struktur dapat didesain berdasarkan respon inelastisnya terhadap beban gempa. Namun seperti penjelasan sebelumnya bahwa sangat tidak ekonomis untuk mempertahankan struktur dalam kondisi elastis saat terjadi gempa, mengingat gempa merupakan beban siklik. Oleh karena itu perilaku daktail dari suatu struktur akan sangat menentukan bagi kemampuan struktur untuk dapat berdeformasi inelastik secara berkelanjutan akibat gempa tanpa mengalami penurunan kekuatan yang berarti.

Dalam penerapan konsep desain kapasitas struktur tahan gempa yaitu mekanisme pergoyangan struktur harus mengacu pada prinsip *Strong Column Weak Beam* dengan tujuan agar terjadi mekanisme pergoyangan dengan sebagian besar sendi plastis pada balok (Gambar 1).

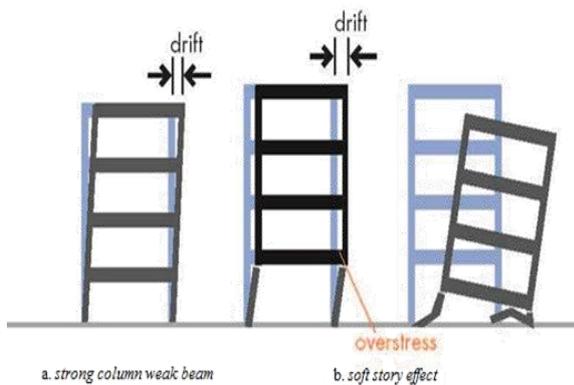


Gambar 1. Mekanisme keruntuhan *strong column weak beam* [16]

Pada pola keruntuhan ini, saat terjadi gempa rencana dimana struktur telah melampaui tingkat elastis, lokasi sendi-sendi plastis yang diizinkan terjadi adalah pada

ujung-ujung balok dan pada kaki kolom lantai dasar saja. Dengan kata lain struktur direncanakan sedemikian rupa sehingga bila terjadi kondisi inelastis, hanya terjadi pada tempat yang ditentukan sehingga dapat terkontrol sebagai dissipasi energi. Sedangkan bagian struktur lainnya tetap berperilaku elastis.

Adapun mekanisme kerja strong column weak beam yaitu pada saat struktur mendapat gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung pada distribusi lateral *story drift* (simpangan antar lantai). Jika struktur memiliki kolom lebih kuat daripada balok (*strong column weak beam*), maka *drift* akan tersebar merata dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan (Gambar 2). Sebaliknya jika kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai (*soft story effect*) seperti ditunjukkan pada (Gambar 3).



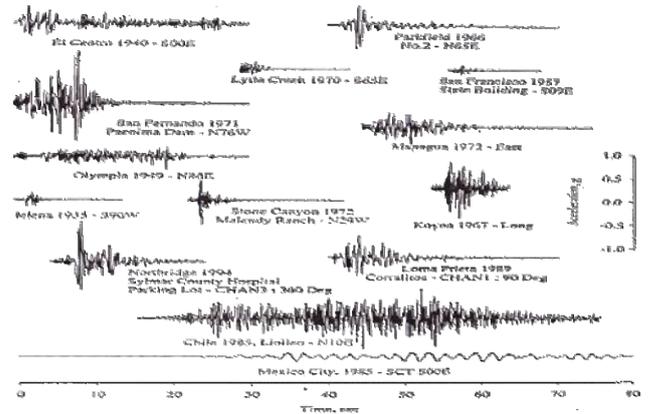
Gambar 2. Mekanisme keruntuhan *soft story* [17]

Menurut SNI 1726:2012, Analisis respons riwayat waktu linier harus terdiri dari analisis model matematis linier suatu struktur untuk menentukan responsnya melalui metoda integrasi numerik terhadap kumpulan riwayat waktu percepatan gerak tanah yang kompatibel dengan spektrum respons desain untuk situs yang bersangkutan.

Paling sedikit tiga gerak tanah yang sesuai harus digunakan dalam analisis. Apabila analisis dua dimensi dilakukan maka setiap gerak tanah harus terdiri dari riwayat waktu percepatan tanah horisontal yang diseleksi dari rekaman gempa aktual. Apabila analisis tiga dimensi dilakukan maka gerak tanah harus terdiri dari sepasang komponen percepatan tanah horisontal yang sesuai, yang harus diseleksi dan diskalakan dari rekaman peristiwa gempa individual. Gerak tanah yang sesuai harus diseleksi dari peristiwa-peristiwa gempa yang memiliki magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan [18].

Dalam mendesain elemen struktur baja terhadap pengaruh beban gempa dan beban lainnya yang bekerja pada struktur, digunakan metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*). Metode LRFD merupakan metode perencanaan struktur baja dengan membandingkan kekuatan struktur yang diberi suatu faktor resistensi (ϕ) terhadap kombinasi beban terfaktor yang bekerja pada struktur tersebut ($\sum \gamma_i Q_i$). Pada metode ini fokus perencanaan berdasarkan kondisi batas kekuatan (*ultimate*

strength) yang menjamin keselamatan publik terhadap beban ekstrim selama masa pakai struktur.



Gambar 3. Rekaman *ground motion* [19]

Berdasarkan Elkan dan Chopra, untuk mendapatkan faktor skala minimum untuk masing-masing data akselogram, selisih antara spektrum skala rekaman dan spektrum target diminimalkan antara $0,2T$ dan $1,5T$ melalui metode kuadrat terkecil,

Perencanaan metode LRFD merupakan metode perencanaan struktur baja dengan membandingkan kekuatan struktur yang diberi suatu faktor resistensi (ϕ) terhadap kombinasi beban terfaktor yang bekerja pada struktur tersebut. Perencanaan metode LRFD memenuhi syarat jika kuat rencana ϕR_n lebih besar dari kuat perlu R_u dengan nilai (ϕ) bervariasi tergantung aksi komponen yang ditinjau. Kuat perlu merupakan nilai maksimum dari berbagai kombinasi pembebanan yang ditentukan dengan bantuan analisis struktur. Hasil analisis struktur kemudian digunakan untuk mengevaluasi setiap elemen struktur dan dibandingkan dengan kuat rencana tiap elemen struktur sesuai dengan gaya internal yang bekerja. Tinjauan setiap elemen diperlukan dengan tujuan untuk memeriksa karakter setiap aksi dan perilaku keruntuhannya [20-23].

2. Metode Penelitian

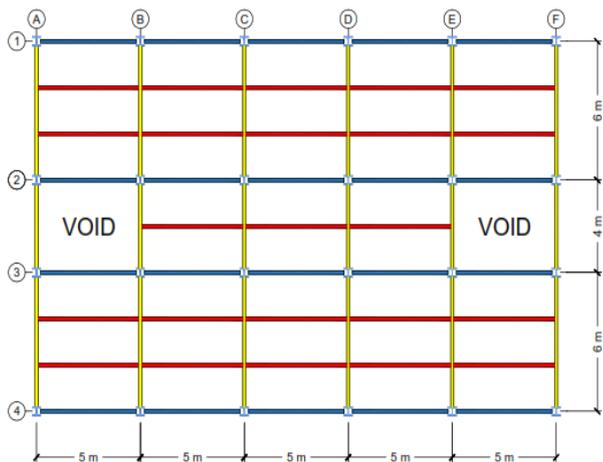
2.1. Data Penelitian

Lokasi perencanaan gedung dalam tulisan ini terletak di Kota Palu, Sulawesi Tengah. Pemilihan lokasi ini dimaksudkan karena Kota Palu merupakan salah satu wilayah gempa kuat sesuai dengan Peta Hazard Gempa Indonesia 2017. Gedung direncanakan merupakan gedung perkantoran bertingkat 5 (lima) dengan tinggi tipikal 3,8 meter. Sistem struktur atas yang digunakan merupakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dari baja. Pemilihan dimensi profil yang akan digunakan dalam perencanaan yaitu dengan cara memperkirakan (*trial error*) dimensi awal elemen struktur berdasarkan ketentuan yang berlaku. Sistem lantai digunakan struktur komposit dengan dek baja gelombang. Adapun tipe struktur bawah digunakan pondasi tiang beton (*bored pile*).

Material struktur yang digunakan terdiri dari baja dengan mutu A36 ($f_y = 250$ MPa; $f_u = 400$ MPa) dan beton dengan kuat tekan $f'_c = 30$ MPa.

Denah gedung arah vertikal diseragamkan dengan bentang 5 m, sedangkan denah gedung arah horizontal

memiliki bentang yang bervariasi yaitu 4 m dan 6 m (Gambar 4 dan Gambar 5).



Gambar 4. Denah struktur gedung rencana Lantai 1-4



Gambar 5. Denah struktur gedung rencana Lantai 5

2.2. Metode Perencanaan

2.2.1. Dimensi Elemen Struktur

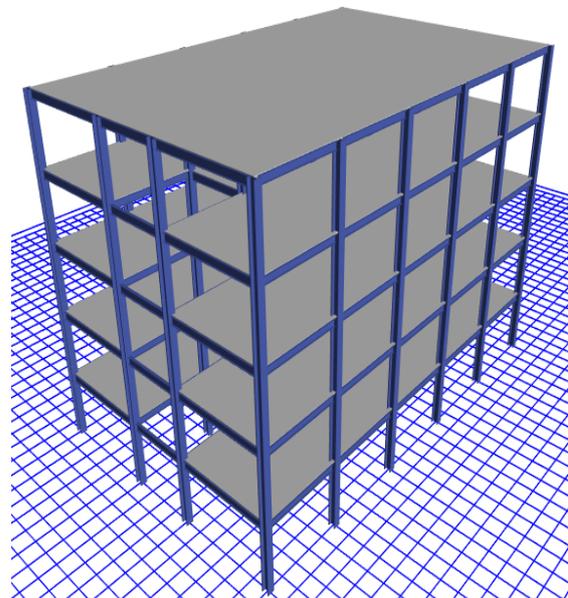
Dimensi elemen struktur yang digunakan dalam perencanaan didasarkan pada preliminary design dengan memperkirakan profil yang digunakan sesuai ketentuan yang berlaku. Adapun dimensi elemen struktur tersebut ialah seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi elemen struktur

Elemen Struktur	Dimensi	Keterangan
Kolom	W 14 x 16 x 283	Seragam
Balok	W 14 x 6,75 x 38	Balok Induk Arah X
	W 16 x 7 x 40	Balok Induk Arah Y
	W 8 x 6,5 x 24	Balok Anak
Balok Tangga	W 14 x 6,75 x 30	Seragam
Balok Bordes	W 14 x 6,75 x 30	Seragam
Pelat	120 mm (tebal)	Seragam

2.2.2. Pemodelan struktur 3 dimensi

Berdasarkan dimensi elemen struktur yang direncanakan, kemudian struktur gedung dimodelkan ke dalam bentuk 3D menggunakan *Etabs 2020*. Berikut hasil Pemodelan struktur gedung menggunakan perangkat lunak *Etabs 2020* diperlihatkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan perspektif struktur

2.2.3. Pembebanan struktur

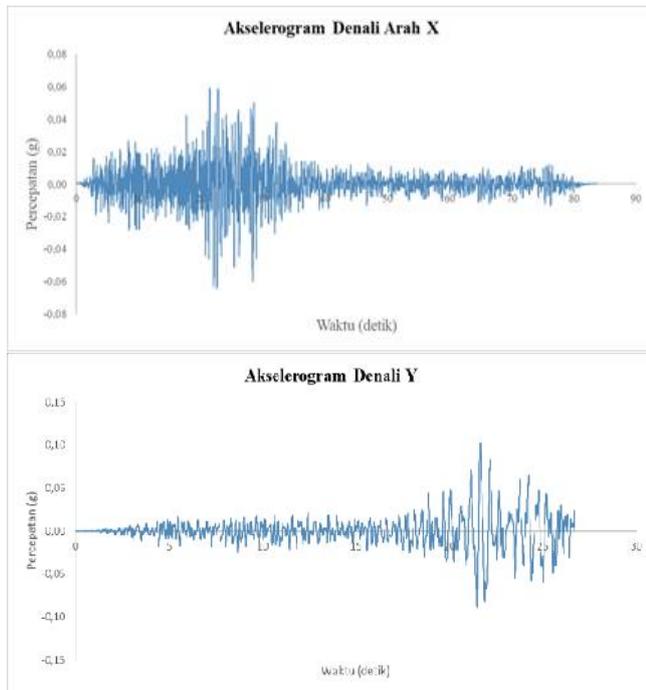
Secara garis besar beban yang bekerja pada struktur terbagi atas beban gravitasi, beban notional dan beban gempa. Beban gravitasi merupakan seluruh beban mati (D) dan beban hidup (L) yang direncanakan bekerja pada struktur yang terdiri dari:

- 1). Beban mati (D)
 - Berat sendiri elemen struktur (dihitung secara otomatis oleh program *Etabs 2020*)
 - Beban finishing pelat atap, $Q = 1,913 \text{ kN/m}^2$
 - Beban finishing pelat lantai, $Q = 1,397 \text{ kN/m}^2$
 - Beban dinding partisi kaca:
 - $q = 2,117 \text{ kN/m}$ (arah x)
 - $q = 2,102 \text{ kN/m}$ (arah y)
 - Beban dinding partisi bata ringan :
 - $q = 7,167 \text{ kN/m}$ (arah x)
 - $q = 7,065 \text{ kN/m}$ (arah y)
- 2). Beban hidup (L)
 - Beban hidup merata pada pelat atap, $Q = 0,96 \text{ kN/m}^2$
 - Beban hidup merata pada pelat lantai :
 - Lobi dan koridor lantai pertama = $4,79 \text{ kN/m}^2$
 - Koridor di atas lantai pertama = $3,83 \text{ kN/m}^2$
 - Kantor = $2,40 \text{ kN/m}^2$

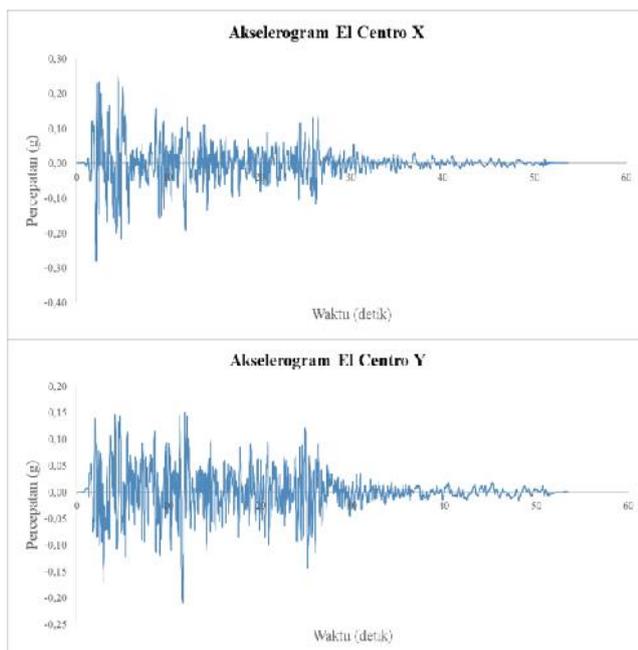
Sementara itu, untuk beban notional yang bekerja pada struktur akan dihitung secara otomatis oleh program *Etabs 2020* dengan besar beban yang bekerja yaitu 0,002 dari berat total struktur. Untuk beban gempa, dianalisis menggunakan metode *Time History* (analisis riwayat waktu), dengan parameter analisisnya ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012 sebagaimana yang diuraikan berikut ini :

1). Data akselogram

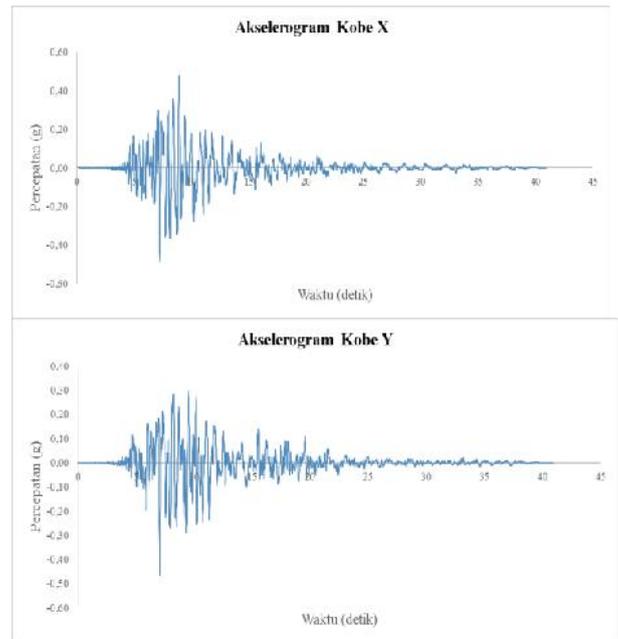
Meliputi Gempa Denali pada tahun 2002 dengan magnitude: 7,9 SR dan PGA: 0,10252 g (Gambar 7), Gempa El Centro pada tahun 1940 dengan magnitude: 6,95 SR dan PGA: 0,28080 g (Gambar 8), Gempa Kobe pada tahun 1995 dengan magnitude: 6,90 SR dan PGA: 0,48323 g (Gambar 9), Gempa Loma Parieta pada tahun 1989 dengan magnitude: 6,93 SR dan PGA: 0,10286 g (Gambar 10), dan Gempa Northridge pada tahun 1995 dengan magnitude: 7,28 SR dan PGA: 0,15166 g (Gambar 11)



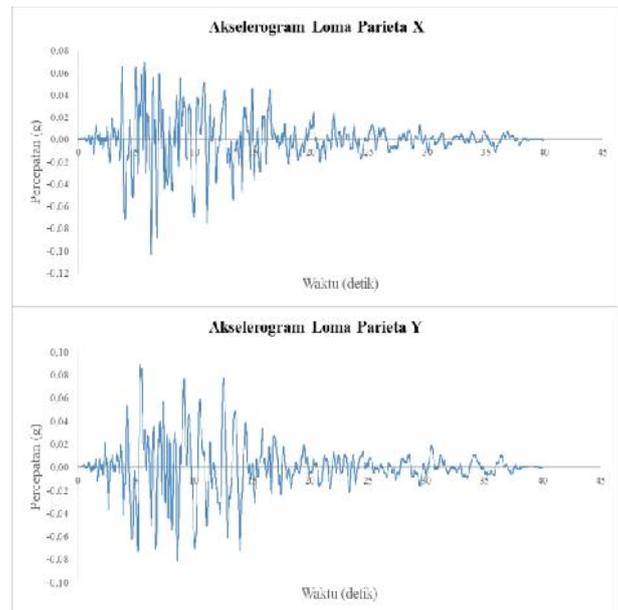
Gambar 7. Grafik akselogram gempa Denali



Gambar 8. Grafik akselogram gempa El-Centro



Gambar 9. Grafik akselogram gempa Kobe

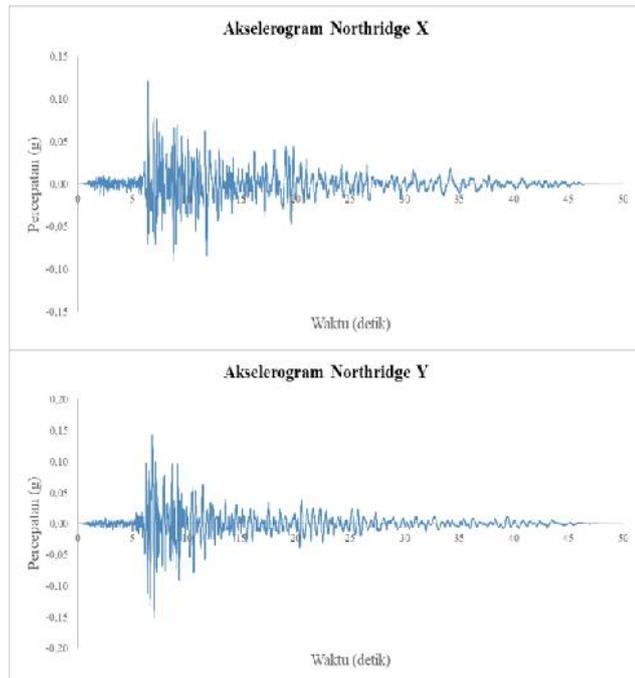


Gambar 10. Grafik akselogram gempa Loma Parieta

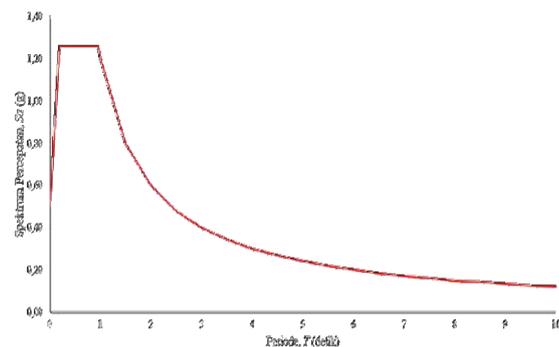
2). Data respon spektrum target

- Jenis pemanfaatan gedung: Kantor
- Kategori resiko struktur: II
- Faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,0$
- Klasifikasi situs: Tanah lunak, SE
- Nilai $S_s = 2,164$ g
- Nilai $S_1 = 0,765$ g
- Faktor $F_a = 0,90$
- Faktor $F_v = 2,40$
- Respon percepatan gempa desain:
- $SDS = 1,298$ g; $SD1 = 1,224$ g
- Periode $T_s = 0,943$ detik
- Periode $T_0 = 0,189$ detik
- Kategori desain seismik: E
- Faktor daktilitas struktur, $R = 8$

Berdasarkan parameter tersebut, dibentuk spektrum respon percepatan gempa target yang akan digunakan dalam penyekalaan data akselogram (Gambar 12).



Gambar 11. Grafik akselogram gempa Northridge



Gambar 12. Grafik spektrum respon percepatan gempa target

Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

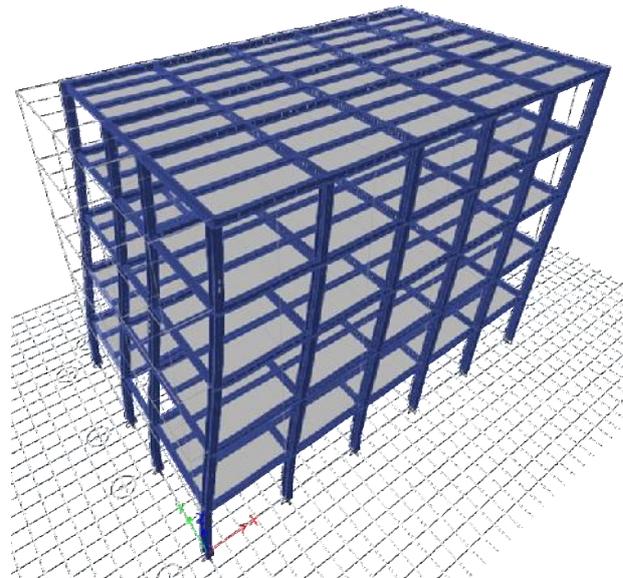
Tabel 2. Kombinasi pembebanan

No	Kombinasi Beban
1	1,4 D
2	1,2 D + 1 L
3	1,2 D + 1,0 L + 1,6 Lr
4	1,2 D + 1,0 L + 0,5 Lr
5	1,4512 D + 1,3 Qx + 0,39 Qy + 1,0 L
6	1,4512 D + 0,39 Qx + 1,3 Qy + 1,0 L
7	0,9 D
8	0,64812 D + 1,3 Qx + 0,39 Qy
9	0,64812 D + 0,39 Qx + 1,3 Qy
10	1,2 D + 1,0 N + 1,0 L
11	1,2 D - 1,0 N + 1,0 L
12	0,9 D + 1,0 L
13	0,9 D - 1,0 L

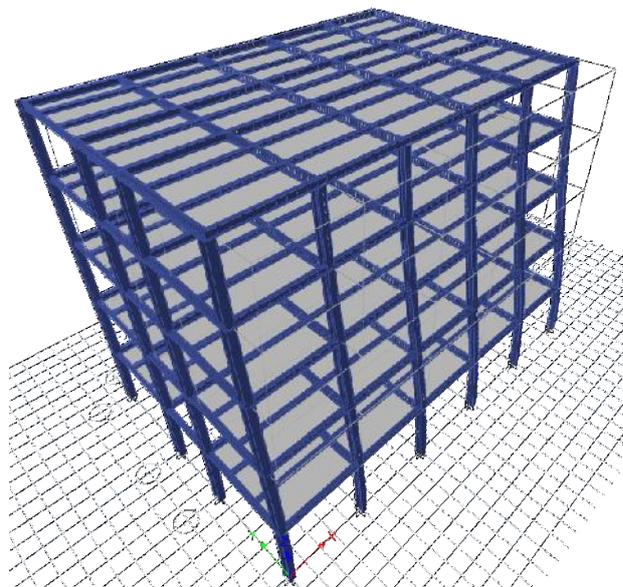
3. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Analisis Modal

Faktor yang mempengaruhi analisis modal adalah massa yang ada pada struktur dan besarnya redaman (*damping*) yang diberikan. Massa tersebut berupa berat seismik efektif yang terdiri dari 100% massa yang berasal dari berat sendiri struktur dan berat komponen tambahan, serta 25% massa yang berasal dari beban hidup. Ini sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2012 yang mengatur bahwa besarnya berat seismik pada struktur harus terdiri dari seluruh beban mati dan minimal 25% beban hidup merata pada tiap lantai struktur (Gambar 13 dan Gambar 14).



Gambar 13. Ragam getar pertama, T = 1,137 detik



Gambar 14. Ragam getar kedua, T = 0,949 detik

Untuk memberikan pembuktian secara teoritis pada gerak ragam pertama dan kedua yang di dominasi oleh gerak translasi, maka dari itu gerak ragam pertama dan kedua selanjutnya dikontrol terhadap nilai rasio partisipasi massa untuk masing-masing ragam getar pada gerak translasi dan rotasi pada arah sumbu X dan Y (Tabel 3).

Tabel 3. Rasio partisipasi massa

Ragam Getar	Sumbu X		Sumbu Y	
	ΣU_x (%)	ΣR_x (%)	ΣU_x (%)	ΣR_x (%)
1	0,803	0	0	0,217
2	0,803	0,249	0,775	0,217
3	0,803	0,249	0,775	0,217
4	0,917	0,249	0,775	0,783
5	0,917	0,752	0,905	0,783
6	0,917	0,752	0,905	0,783
7	0,967	0,7518	0,9053	0,887
8	0,967	0,881	0,963	0,887
9	0,967	0,81	0,963	0,887
10	0,992	0,881	0,963	0,976
11	1	0,881	0,963	1
12	1	0,972	0,991	1
13	1	0,972	0,991	1
14	1	1	1	1
15	1	1	1	1

Nilai waktu getar alami struktur akan menentukan metode yang digunakan dalam mengkombinasikan respon maksimum struktur akibat beban gempa (Tabel 4).

Tabel 4. Waktu getar alami struktur

Ragam Getar	Waktu Getar Alami, (detik)	Selisih	
		Detik	%
1	1,137		
2	0,949	0,188	18,8
3	0,868	0,081	8,1
4	0,342	0,526	52,6
5	0,267	0,075	7,5
6	0,248	0,019	1,9
7	0,177	0,071	7,1
8	0,127	0,05	5
9	0,12	0,007	0,7
10	0,111	0,009	0,9
11	0,083	0,028	2,8
12	0,076	0,007	0,7
13	0,072	0,004	0,4
14	0,055	0,017	1,7
15	0,053	0,002	0,2

4.2. Hasil Analisis Time History

Parameter pertama yang diperiksa dalam Analisis *Time History* adalah gaya geser dasar (*base shear*) hasil analisis spektrum respon. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1 menyatakan bahwa nilai gaya geser dasar hasil analisis *time history* harus lebih besar dari 85% gaya geser dasar yang dihitung dengan metode statik ekuivalen (Tabel 5). Tahapan selanjutnya setelah syarat gaya geser dasar terpenuhi, ialah memeriksa simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur akibat beban gempa rencana (Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10). Demikian juga selanjutnya, untuk pemeriksaan kemungkinan terjadinya efek P-delta dilakukan dengan menghitung besarnya koefisien stabilitas θ untuk setiap tingkatan pada struktur. Untuk mendapatkan beban vertikal P yang terbesar, maka ditinjau kolom pada

salah satu bagian tepi terluar struktur (Tabel 11, Tabel 12, Tabel 13, Tabel 14, Tabel 15)

Tabel 5. Gaya geser dasar

Nama Gempa	Global Fx (kN)	Global Fy (kN)
El - Centro	1565,5379	1753,6316
Kobe	1565,5368	1753,6258
Loma Parieta	1565,5395	1753,6281
Northridge	1565,5348	1753,6279
Denali	1565,5365	1753,6256

Tabel 6. Simpangan antar lantai gempa El-Centro

Tingkat	Δx	Δy	Δa
Atap	37,774	46,4145	95
4	64,9	64,801	95
3	88,682	77,88	95
2	94,149	74,3435	95
1	53,845	38,104	95

Tabel 7. Simpangan antar lantai gempa Kobe

Tingkat	Δx	Δy	Δa
Atap	36,9875	51,5955	95
4	62,337	72,0555	95
3	84,2985	88,0385	95
2	90,145	86,5975	95
1	52,5745	45,7105	95

Tabel 8. Simpangan antar lantai gempa Loma Parieta

Tingkat	Δx	Δy	Δa
Atap	44,6985	48,488	95
4	64,3665	68,035	95
3	86,2235	81,994	95
2	93,907	77,8965	95
1	54,659	39,4295	95

Tabel 9. Simpangan antar lantai gempa Northridge

Tingkat	Δx	Δy	Δa
Atap	41,2665	40,0015	95
4	68,662	53,174	95
3	91,0195	64,4545	95
2	94,9245	64,845	95
1	53,9825	34,738	95

Tabel 10. Simpangan Antar Lantai Gempa Denali

Tingkat	Δx	Δy	Δa
Atap	41,2665	40,0015	95
4	68,662	53,174	95
3	91,0195	64,4545	95
2	94,9245	64,845	95
1	53,9825	34,738	95

Tabel 11. Efek P-delta Gempa El-Centro

Tingkat	θ_x	θ_y	θ_{maks}
Atap	0,0067	0,0074	0,0909
4	0,0145	0,0135	0,0909
3	0,0249	0,0187	0,0909
2	0,0300	0,0208	0,0909
1	0,0208	0,0128	0,0909

Tabel 12. Efek P-delta Gempa Kobe

Tingkat	θ_x	θ_y	θ_{maks}
Atap	0,0072	0,0079	0,0909
4	0,0142	0,0144	0,0909
3	0,0220	0,0223	0,0909
2	0,0274	0,0262	0,0909
1	0,0191	0,0160	0,0909

Tabel 13. Efek P-delta Gempa Loma Parieta

Tingkat	θ_x	θ_y	θ_{maks}
Atap	0,0081	0,0078	0,0909
4	0,0142	0,0127	0,0909
3	0,0229	0,0174	0,0909
2	0,0308	0,0196	0,0909
1	0,0211	0,0124	0,0909

Tabel 14. Efek P-delta Gempa Northridge

Tingkat	θ_x	θ_y	θ_{maks}
Atap	0,0085	0,0076	0,0909
4	0,0165	0,0123	0,0909
3	0,0247	0,0176	0,0909
2	0,0301	0,0197	0,0909
1	0,0209	0,0117	0,0909

Tabel 15. Efek P-delta Gempa Northridge

Tingkat	θ_x	θ_y	θ_{maks}
Atap	0,0072	0,0075	0,0909
4	0,0143	0,0127	0,0909
3	0,0243	0,0172	0,0909
2	0,0297	0,0193	0,0909
1	0,0204	0,0119	0,0909

4.3. Hasil Desain Struktur Bawah

4.3.1. Balok Pengikat

Untuk balok pengikat menggunakan profil W 10x8x33.

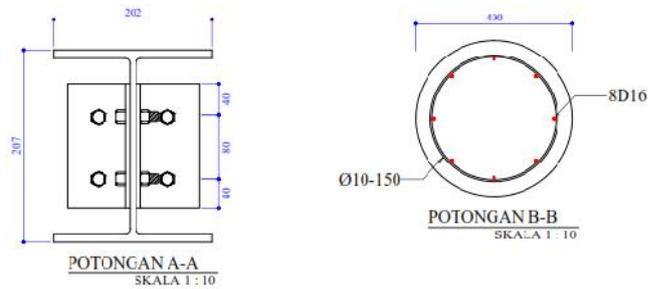
4.3.2. Pile Cap

Dimensi *pile cap* yang digunakan ialah panjang x lebar x tinggi masing-masing 2 meter x 1,5 meter x 0,65 meter. Dengan mutu beton $f'c$ 30 MPa.

4.3.3. Bored Pile

Pondasi yang digunakan ialah pondasi *bored pile* yang berdiameter 400 mm, dengan 2 buah *bored pile* untuk masing-masing ujung kolom di lantai dasar. Jumlah tulangan longitudinal *bored pile* yang diperoleh dari hasil perencanaan ialah 8D16.

Untuk gambaran mengenai detail penyambungan dapat dilihat pada Gambar 15.



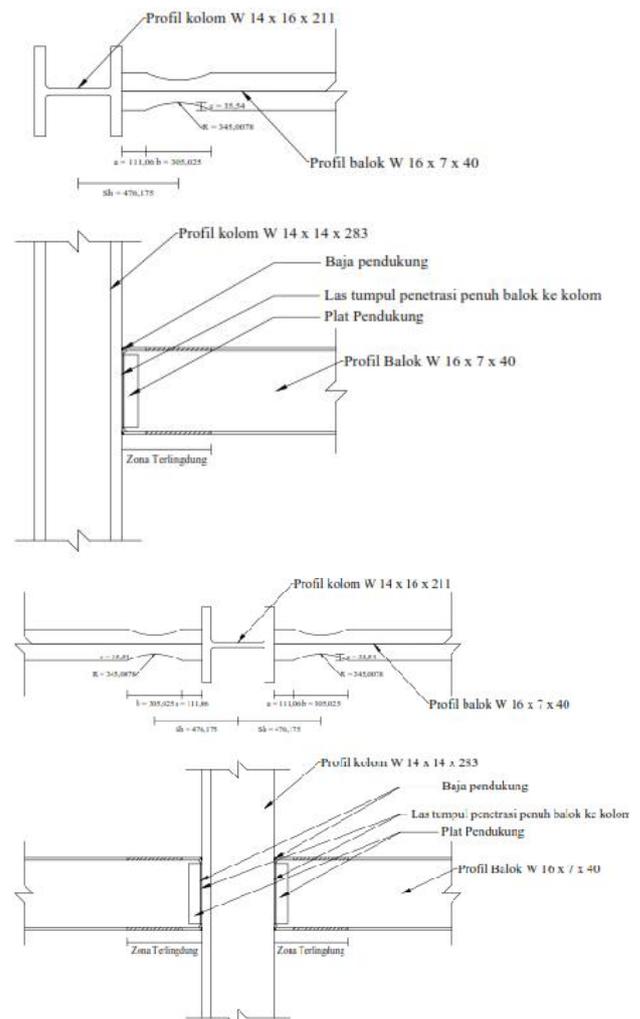
Gambar 15. Detail sambungan *reduced beam section* (RBS)

4.4. Hasil Desain Sambungan Struktur

Berikut ini adalah hasil desain sambungan elemen struktur yang direncanakan

1). Sambungan *Reduced Beam Section* (RBS)

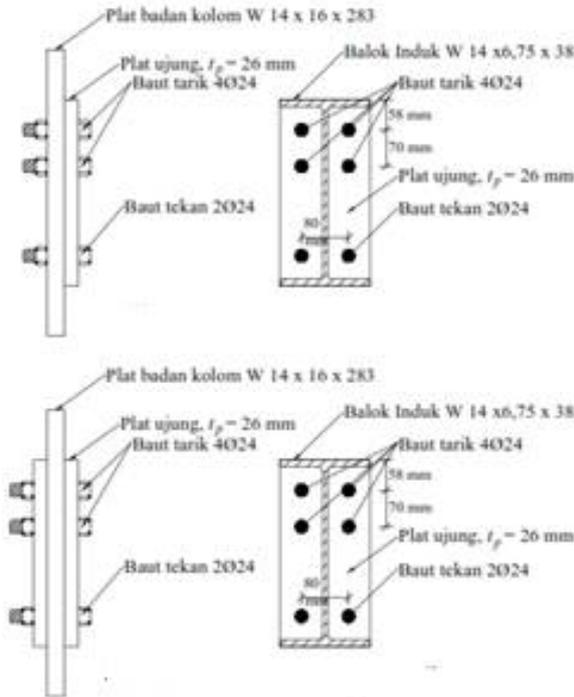
Sambungan ini digunakan pada penyambungan balok dan sayap kolom. Untuk gambaran mengenai detail penyambungan dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Detail sambungan *reduced beam section* (RBS)

2). Sambungan *Flush End Plate*

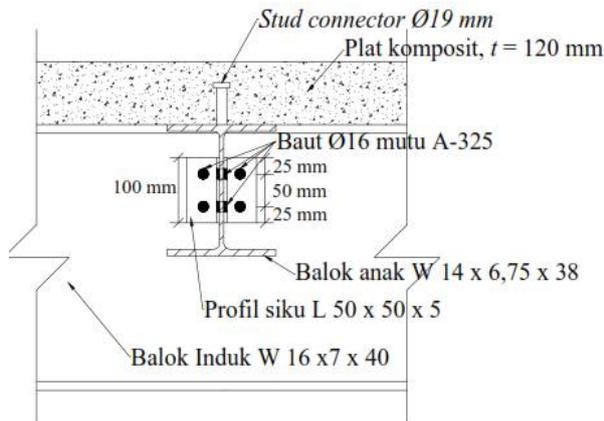
Sambungan ini digunakan pada penyambungan balok dan badan kolom. Untuk gambaran mengenai detail penyambungan dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Detail sambungan *flush end plate*

3). Sambungan *Simple Connection*

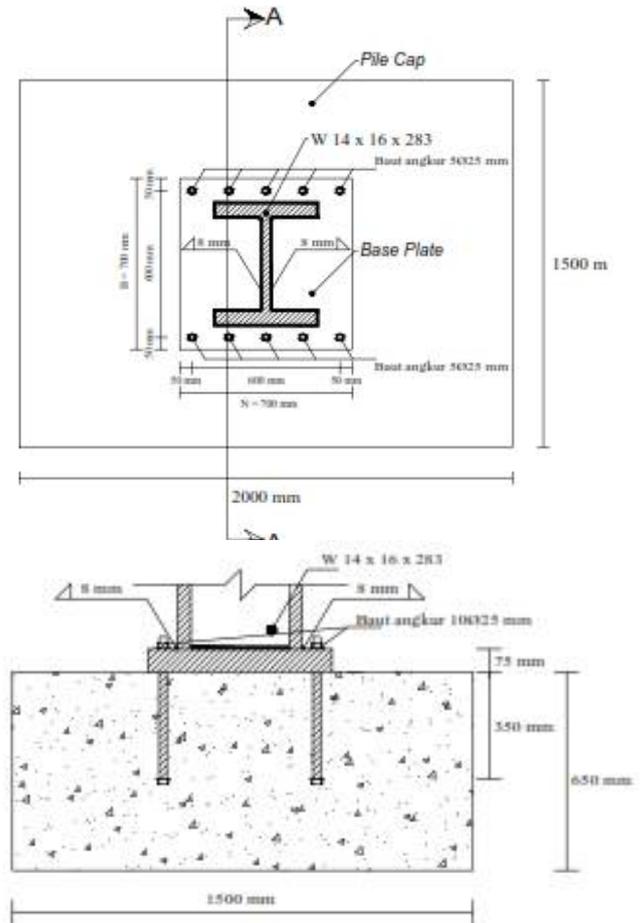
Sambungan ini digunakan pada penyambungan balok induk dan balok anak. Untuk gambaran mengenai detail penyambungan dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Detail sambungan *simple connection*

4). Sambungan *Base Plate*

Direncanakan sambungan *base plate* untuk mendistribusikan beban yang dipikul kolom ke pondasi. Untuk gambaran mengenai detail penyambungan dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Detail sambungan *base plate*

5). Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan dan pembahasan sebelumnya, kesimpulan yang dapat diambil dari penulisan ini sebagai berikut:

- 1). Berdasarkan analisis modal terhadap model struktur gedung rencana memiliki potensi terhadap terjadinya efek torsi akibat beban gempa. Hal ini dapat dilihat dari nilai rasio partisipasi massa (ragam pertama) akibat gerak rotasi pada arah sumbu Y sebesar 21,7% lebih besar dari gerak translasi pada arah sumbu tersebut (0,00%). Walaupun demikian, nilai rasio partisipasi massa 21,7% ini masih kurang dari nilai rasio partisipasi massa (ragam pertama) yang dihasilkan oleh gerak translasi pada arah sumbu X, yaitu sebesar 80,28% sehingga keseluruhan gerak struktur pada periode awal masih didominasi oleh gerak translasi.
- 2). Struktur gedung yang direncanakan memiliki karakteristik dinamik sebagai berikut:
 - a) Periode fundamental struktur untuk ragam pertama saat dilakukan analisis vibrasi bebas ialah 1,137 detik, nilai ini memenuhi syarat batas bawah periode getar struktur namun melewati batas atas periode getar struktur sehingga digunakan batas atas periode getar (1,069 detik) untuk periode fundamental ragam pertama.

- b) Periode fundamental struktur untuk ragam kedua saat dilakukan analisis vibrasi bebas ialah 0,949 detik, nilai ini memenuhi syarat batas bawah dan batas atas periode getar struktur.
 - c) Simpangan antar lantai maksimum struktur terjadi di tingkat 2 pada gempa Denali, dengan nilai simpangan sebesar 94,9245 mm yang memenuhi syarat kurang dari nilai simpangan antar lantai ijin sebesar 95 mm. Hal ini memberikan gambaran bahwa struktur yang direncanakan tahan gempa memiliki standar kerja yang cukup baik.
 - d) Daktilitas yang dimiliki struktur dari hasil perencanaan telah sesuai dengan prinsip strong column weak beam. Hal ini dibuktikan dengan kuat lentur nominal kolom hasil desain yang lebih besar dari kuat lentur nominal balok yang bertemu pada join yang sama di semua tingkat.
- 3). Perencanaan dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Adapun hasil desain terhadap tiap-tiap elemen struktur tersebut ialah seperti berikut:
- a) Elemen balok pada struktur dalam sumbu X memiliki dimensi yang seragam, yaitu profil W14x6,75x38 pada semua tingkat dengan sambungan menggunakan sambungan *flush end plate*. Sedangkan elemen balok pada struktur dalam sumbu Y juga memiliki dimensi yang seragam, yaitu profil W16x7x40 pada semua tingkat dengan sambungan menggunakan sambungan *reduced beam section*.
 - b) Sambungan *reduced beam section* dengan kedalaman coakan (parameter c) 35,54 mm.
 - c) Untuk sambungan *flush end plate* diperoleh tebal pelat ujung 26 mm serta diameter baut yang digunakan 24 mm dengan jumlah baut pada sisi tarik sebanyak 4 buah dan jumlah baut pada sisi desak sebanyak 2 buah.
 - d) Elemen kolom pada struktur di semua tingkat memiliki dimensi yang seragam, yaitu profil W14x16x283.
 - e) Pertemuan antar balok dengan kolom (join) memiliki kuat geser yang lebih besar dari gaya geser pada join yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan tidak diperlukan pelat ganda (*doubler plate*) pada zona panel.
 - f) Elemen pelat yang didesain dengan ketebalan 120 mm menggunakan dek gelombang mampu menahan momen yang terjadi pada masa konstruksi (sebelum komposit) dan masa layan (setelah komposit). Beton dan dek baja dihubungkan menggunakan shear connector tipe *stud* dengan diameter 19 mm dengan jumlah stud connector sebanyak 19 buah.
 - g) Dimensi yang digunakan untuk *base plate* pada kolom eksterior dan kolom interior yaitu 700 mm x 700 mm dengan ketebalan 75 mm. Adapun baut angkur pada *base plate* kolom eksterior berjumlah 10 buah dan 4 buah baut angkur pada *base plate* kolom interior. Berdasarkan hasil perhitungan,

diperoleh bahwa baut angkur mampu menahan interaksi antara gaya tarik dan gaya geser yang terjadi pada baut angkur.

- h) Balok pengikat (*tie beam*) menggunakan profil W10x8x33 dengan jumlah baut yang digunakan 2 baut diameter 16 mm untuk masing-masing sisi dengan pelat penyambung digunakan profil L80x80x6.
- i) Tipe struktur bawah (pondasi) menggunakan pondasi bored pile dengan diameter 400 mm. Jumlah bored pile yang digunakan sebanyak 2 buah pada masing-masing kolom lantai dasar dengan jumlah tulangan longitudinal bored pile diperoleh 8D16. Kedua *bored pile* tersebut disatukan oleh sebuah *pile cap* dengan dimensi 2000 mm x 1500 mm dengan ketebalan 650 mm.

Daftar Pustaka

- [1] Anthony, T.F.Y. Savitri, and H. Santoso, "Evaluasi Kinerja Sistem Rangka Baja dan Beton Komposit Pemikul Momen Khusus yang Didesain Berdasarkan SNI 1729:2015", *Dimensi Pratama Teknik Sipil*, vol. 5, no. 2, p. 1, 2016.
- [2] F. Ardianto, *Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa dengan Analisis Dinamis Menggunakan Metode Analisis Riwayat Waktu*, Palu: Universitas Tadulako, 2015.
- [3] R. Azmi, *Perencanaan Ulang Struktur Atas Gedung IRNA Bedah RSUD Dr. H. Moch. Ansari Saleh Banjarmasin Kalimantan Selatan Menggunakan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Malang: Universitas Muhammadiyah Malang, 2017.
- [4] Budiono dan Supriatna, *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa*, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2012.
- [5] W. Dewobroto, *Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain –AISC 2010*, Jakarta: LUMINA Press, 2016.
- [6] Federation Emergency Management Agency, *2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples (FEMA P-751)*, Washington: FEMA, 2012.
- [7] Himawan, *Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 for Dummies*, Semarang: Universitas Negeri Semarang, 2013.
- [8] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1727:2015, Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Jakarta: BSN, 2015.
- [9] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-1726-2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, Jakarta: : BSN, 2002.
- [10] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1726:2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Jakarta: BSN, 2015.
- [11] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1727:2013, Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta: BSN, 2002.
- [12] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 2847:2013, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Jakarta: : BSN, 2002.

- [13] AISC, *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications-Including Supplement (No.1-ANSI/AISC 358-10)*, Illinois: American Institute of Steel Construction, 2010.
- [14] ASCE, *Minimum Design Load for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10)*, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2010.
- [15] AWS D1.8, *Structures Welding Code – Seismic Supplement*, Miami: American Welding Society, 2010.
- [16] E. Kalkan and A.K. Chopra, *Practical Guidelines to Select and Scale Earthquake Records for Nonlinear Response History Analysis of Structure*, Washington: Earthquake Engineering Research Institute, 2009.
- [17] S.M. Kevin and J.Y. Feng, *Design of Rbs Connections for Special Moment Frame*, Moraga: Structural Steel Education Council, 2007.
- [18] Murray and Shoemaker, *Flush and Extended Multiple-Row*, Washington: American Institute of Steel Construction, 2002.
- [19] A. Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Jakarta: Erlangga, 2008.
- [20] R. Tantriono, *Perencanaan Gedung Bertingkat Tahan Gempa Menggunakan Struktur Baja*, Palu: Universitas Tadulako, 2010.
- [21] B.D. Wardina, *Desain Alternatif Fondasi Tiang Bor Pada RR Hotel Palu*. Palu: Universitas Tadulako: 2014.
- [22] R. Wantania, B.D. Handono, and R.E. Pandaleke, “Perencanaan Bangunan Sekolah Konstruksi Baja 4 Lantai di Kota Manado “, *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. 9, p. 1179, 2019.
- [23] R.D. Ansyah and H.K. Buwono, “Perilaku Bangunan Struktur Baja Terhadap Beban Gempa Menggunakan Data Tanah dari Hasil Uji CPT”, *Jurnal Konstruksia*, vol. 7, no. 2, p. 53. 2016.

This page is intentionally left blank