



Perencanaan Struktur Gedung Bertingkat Tahan Gempa Menggunakan Sistem Rangka Baja Terbreis Konsentris Khusus (Studi Kasus: Rumah Sakit Di Kota Manado)

Abraham Giroth^{#a}, Banu D. Handono^{#b}, Servie O. Dapas^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aagiroth10@gmail.com, ^bbanu2h@unsrat.ac.id, ^cservie.jo@gmail.com

Abstrak

Dalam upaya mengkaji penerapan sistem struktur baja di Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia, maka dilakukanlah perencanaan struktur bangunan bertingkat sebuah rumah sakit (tanah sedang, $I_e = 1.5$, KDS D) menggunakan rangka baja terbreis konsentris khusus (RBKK) sebagai sistem penahan gaya seismik (STGS), dengan tambahan model pembanding yang menggunakan rangka pemikul momen khusus (RPMK). Proses perencanaan mencakup analisis struktur, penentuan elemen sampai dengan pendetailan sambungan dengan bantuan software ETABS (analisis struktur) dan RAM Connection (desain sambungan). Analisis portal baja menggunakan prinsip *Direct Analysis Method* (DAM) serta analisis elemen dan sambungan dengan prinsip desain kapasitas. Dengan hasil, model RBKK terpilih didapati lebih ringan dibandingkan dengan model pembanding, kemudian elemen hasil desain sudah memenuhi kaidah RBKK, kecuali balok H400X200X8X13 yang belum memenuhi syarat profil daktail tinggi. Demikianpun sambungan telah didesain dengan memperhatikan syarat geometrik maupun kapasitas.

Kata kunci: struktur gedung bertingkat tahan gempa, rangka baja terbreis konsentris khusus, desain kapasitas

1. Pendahuluan

Pengembangan dan penerapan sistem struktur bangunan bertingkat, termasuk dengan menggunakan material baja sebagai alternatif dari sistem beton bertulang, terus dilakukan dengan tujuan mendapatkan bangunan dengan hasil optimal, dengan kriteria : biaya minimum, berat minimum, waktu konstruksi minimum, tenaga kerja minimum, biaya pengerjaan/ manufaktur minimum, dan manfaat maksimum dari struktur selama masa layannya (Setiawan, 2013, hlm. 1–2), yang diharapkan dapat menahan beban rencana, khususnya beban seismik yang merupakan beban lateral yang rentan terjadi di Indonesia (Imran & Hendrik, 2010, hlm. 1), termasuk di dalamnya Kota Manado

Sistem rangka baja pemikul momen khusus (RPMK) sebagai salah satu sistem yang dapat digunakan pada bangunan dengan resiko seismik yang tinggi, memiliki kekurangan dari segi kekakuan, yang berpengaruh pada performa seismik bangunan. Di sisi lain, ada sistem rangka baja terbreis konsentris khusus (RBKK), yang digunakan pada perencanaan struktur dalam jurnal ini, masih dapat digunakan pada bangunan dengan risiko seismik yang sama, walaupun dibatasi penggunaannya pada tinggi bangunan tertentu serta nilai faktor modifikasi respon seismik (R) yang lebih rendah dibandingkan dengan RPMK, merupakan sistem dengan kekakuan yang lebih baik, dikarenakan kehadiran breising, sehingga dapat menjadi sistem yang dapat dipertimbangkan untuk digunakan.

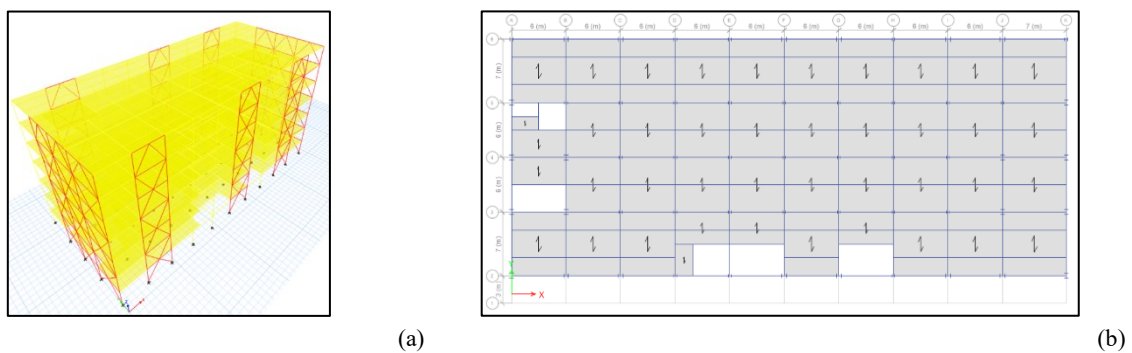
Jurnal ini menguraikan perencanaan struktur dengan beban gempa sebagai beban lateral dominan (tanpa memperhitungkan beban angin) menggunakan sistem baja RBKK sebagai sistem penahan gaya seismik (STGS), mulai dari preliminary design sampai dengan perencanaan sambungan, tanpa tinjauan lanjutan mengenai anggaran biaya. Struktur bangunan rumah sakit yang dianalisis oleh (Rerung, 2022) menggunakan sistem beton bertulang digunakan sebagai

acuan denah bangunan dalam jurnal ini. Sebagai pembanding, dimodelkan juga sistem baja RPMK yang dianalisis terhadap parameter berat struktur pada model dengan syarat simpangan antar tingkat yang telah dipenuhi.

2. Metodologi perencanaan

2.1. Data struktur

Struktur yang direncanakan yaitu gedung rumah sakit yang berlokasi di Kota Manado (LU 1.447592, BT 124.8524681). Bentuk bangunan tipikal persegi panjang dengan ukuran 61 x 26 m memiliki 7 lantai berketinggian 31.5 m. Tinggi tiap lantai tipikal 4.5 m, kecuali lantai pertama, setinggi 4 m dan lantai keempat setinggi 5 m. Denah lantai tipikal untuk semua lantai kecuali lantai satu dengan bukaan pada daerah atrium dan lantai 7 tanpa ada bukaan. Lebih lanjut, pada lantai 7 terdapat ruangan mesin *lift*. Adapun Gambar 1 menunjukkan model 3D struktur dan denah tipikal struktur yang dianalisis.



Gambar 1. (a) Model 3d struktur; (b) Denah tipikal struktur. (Hasil pemodelan ETABS, 2024)

2.2. Data Beban

Beban yang dianalisis yakni beban mati (berat sendiri struktur dan nonstruktur), beban hidup dan beban gempa. Massa jenis beton bertulang dan baja, berturut – turut sebesar 23.6 kN/m³ dan 77.3 kN/m³. Elemen dinding nonstruktural menggunakan bata ringan bermassa jenis 575 kg/m³. Adapun Tabel 1 menyajikan jenis beban mati terpakai lainnya (beban mati tambahan).

Tabel 1. Beban Mati Tambahan. (SNI 1727, 2020)

Jenis beban	Nilai (kN/m ²)
Mekanikal elektrik	0.19
Ceiling	0.48
Floor	0.575

Beban hidup, mengacu pada Tabel 4.3-1 (SNI 1727, 2020), menyesuaikan dengan fungsi ruang pelayanan, yang diekstrak dan ditabulasikan pada Tabel 2. Dimana berdasarkan ketentuan Pasal 4.3.2 (SNI 1727, 2020) pada lantai dengan beban hidup kurang dari 3.83 kN/m², ditambahkan beban partisi sebesar 0.72 kN/m².

Tabel 2. Beban Hidup. (SNI 1727, 2020)

Jenis beban	Nilai (kN/m ²)	Ket.	Jenis beban	Nilai (kN/m ²)	Ket.
Rg operasi, lab.	2.87		Kantor	2.4	
Koridor lt. pertama	3.83		Rg. pertemuan, kursi tetap	2.87	
Koridor lt. lain		Sesuai dengan daerah pelayanan	Rg. pertemuan, kursi dapat dipindahkan	4.79	
Gudang ringan	6		Atap datar	0.96	

Jenis beban	Nilai (kN/m^2)	Ket.	Jenis beban	Nilai (kN/m^2)	Ket.
Rg. komputer	4.79		<i>Elevator Machine Room</i>	7.18	
Rg. pasien	1.92		Tangga	4.79	
Toilet	2.87				

Kemudian untuk beban gempa, digunakan data spektrum respon desain dari Puskim PUPR (Anonymous, 2021) untuk situs kategori tanah sedang (SD) yang disajikan dalam Tabel 3. Adapun berdasarkan hasil analisis awal, bangunan dikategorikan pada kategori risiko IV dengan faktor keutamaan, $I_e = 1.5$, serta kategori desain seismik (KDS) D.

Tabel 3. Parameter Desain Spektra. (Anonymous, 2021)

Parameter	Nilai (g)	Nilai (s)
Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek, S_s	1.0423	
Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 sec, S_1	0.4659	
Parameter Respon Spektral Percepatan Periode Pendek, S_{ms}	1.12889	
Parameter Respon Spektral Percepatan Periode 1 sec, S_{m1}	0.85451	
Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Periode Pendek, S_{ds}	0.75	
Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Periode 1 sec, S_{d1}	0.57	
Periode Panjang, T_l		12
T_0		0.15
T_s		0.76

Beban dianalisis dengan kombinasi pembebanan *Load Resistance Factored Design* (LRFD). Dengan analisis memperhatikan kombinasi beban ortogonal, beban seismik vertikal, serta faktor kuat lebih dan desain kapasitas untuk struktur baja sebagaimana diatur dalam (SNI 1726, 2019; SNI 7860, 2020).

2.3. Tahapan Perencanaan

Tahapan perencanaan disajikan dalam bentuk diagram alir perencanaan yang disajikan pada Gambar 2. Adapun perencanaan dilakukan dengan memperhatikan pedoman perencanaan yakni (SNI 1726, 2019; SNI 1727, 2020; SNI 1729, 2020; SNI 7860, 2020; SNI 7972, 2020).

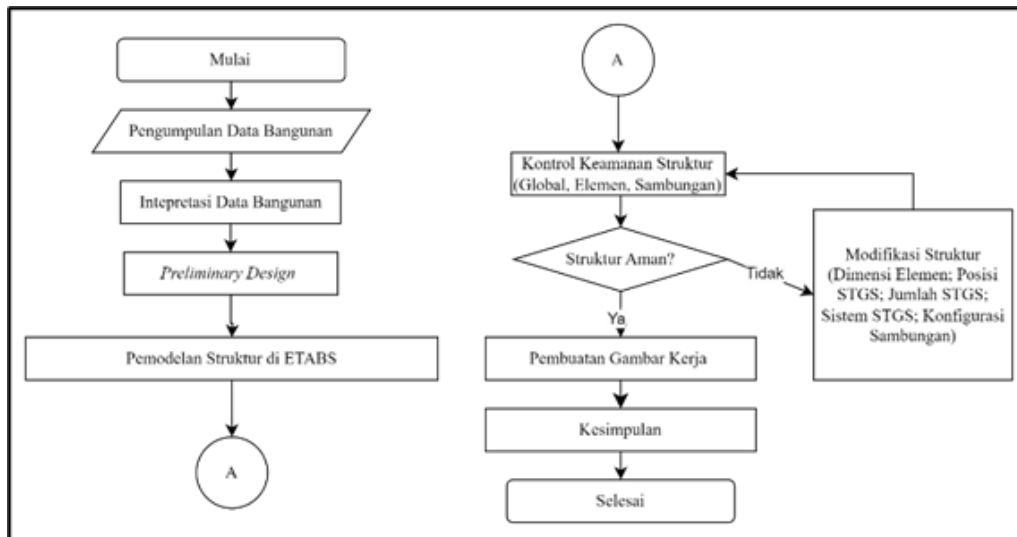
Software yang digunakan dalam perencanaan yakni ETABS v.20.0.0 untuk analisis dan desain struktur serta RAM Connection Standalone v12. Model struktur dimodelkan dengan perletakan sendi, kecuali pada model uji coba dengan RPMK menggunakan perletakan jepit. Demikianpun untuk balok, selain balok STGS dilakukan *realese* pada perletakannya. Elemen didesain dengan prinsip *Direct Analysis Method* (DAM), yang diatur pada ETABS dengan menambahkan efek P-Delta, beban nosional, serta reduksi kekakuan (diatur pada *setting* desain elemen). Lebih lanjut sebagai pembanding model struktur, dibuat variasi model uji coba yakni : Model 1, RPMK pada kedua sumbu; Model 2, RPMK dengan kolom *king cross*; Model 3, RPMK (arah X) dan RBKK (arah Y); Model 4, RPMK (arah Y) dan RBKK (arah X); serta model 5, RBKK pada kedua sumbu yang merupakan model terpilih. Kelima model tersebut dibandingkan terhadap perilaku *drift*, dengan proses iteratif untuk mendapatkan model dengan *drift* yang aman pada konfigurasi terpilih.

3. Kajian Literatur

(Dewobroto, 2016) memaparkan mengenai material baja sebagai material konstruksi yang meskipun memiliki beberapa kekurangan, seperti sifat yang mudah terkorosi serta penurunan performa pada suhu tinggi, namun memiliki keunggulan dibanding dengan material lain dari sisi kekuatan, kekakuan dan daktilitas sehingga memiliki rasio kuat terhadap berat – volume yang tinggi, serta merupakan material baja merupakan material buatan pabrik, sehingga siap pakai dan berpotensi mengurangi waktu konstruksi, sehingga merupakan alternatif material yang dapat dipilih sebagai material struktur.

Dalam pemanfaatannya sebagai material struktur gedung bertingkat pada daerah dengan risiko seismik yang besar, maka penggunaan material baja harus didesain tidak hanya mampu

untuk menahan beban layan, namun diharapkan berperforma dengan baik saat menerima beban seismik. Perilaku yang diharapkan yaitu perilaku daktail, yakni perilaku ulet material ketika dibebani oleh beban gempa dan tidak runtuh secara getas (bersifat tiba – tiba), sehingga masih memberikan kesempatan bagi penghuni bangunan untuk mengevakuasi diri serta menghindari keruntuhan total bangunan. Perilaku daktail ini diharapkan dimiliki mulai dari material baja yang digunakan, dimensi profil, sampai dengan sistem struktur yang terpakai, sebagaimana dijelaskan oleh (Sabelli, 2018), dimana pada cakupan sistem struktur, harus dipastikan bahwa ada bagian yang direncanakan untuk rusak/ bersifat plastis saat beban gempa besar terjadi sehingga bangunan tidak runtuh (Imran & Hendrik, 2010, hlm. 36–37). Prasyarat perilaku seismik bangunan baja tersebut diatur pada (SNI 7860, 2020).



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan (Hasil analisis, 2024)

Dari berbagai sistem struktur yang dikembangkan, sebagai acuan awal penentuan sistem struktur, sistem rangka momen disarankan sebagai opsi sistem penahan gaya seismik (STGS) untuk gedung dengan ketinggian kurang dari 30 lantai (AISC, t.t.; Ruddy & Ioannides, 2000). Untuk KDS D sendiri, (SNI 1726, 2019) membatasi penggunaan rangka momen, yaitu untuk rangka pemikul momen biasa tidak diijinkan, rangka pemikul momen menengah sampai dengan maksimal ketinggian 10 m dengan beberapa syarat tambahan, serta rangka pemikul momen khusus yang tidak dibatasi ketinggiannya. Sebagai alternatif, sistem rangka baja terbreis konsentris khusus (RBKK) yaitu sistem yang digunakan dalam skripsi ini, adalah sistem yang diijinkan untuk digunakan pada KDS D dengan batasan ketinggian maksimum 48 m, dengan nilai $R = 6$, $\Omega = 2$ dan $C_d = 5$ (SNI 1726, 2019).

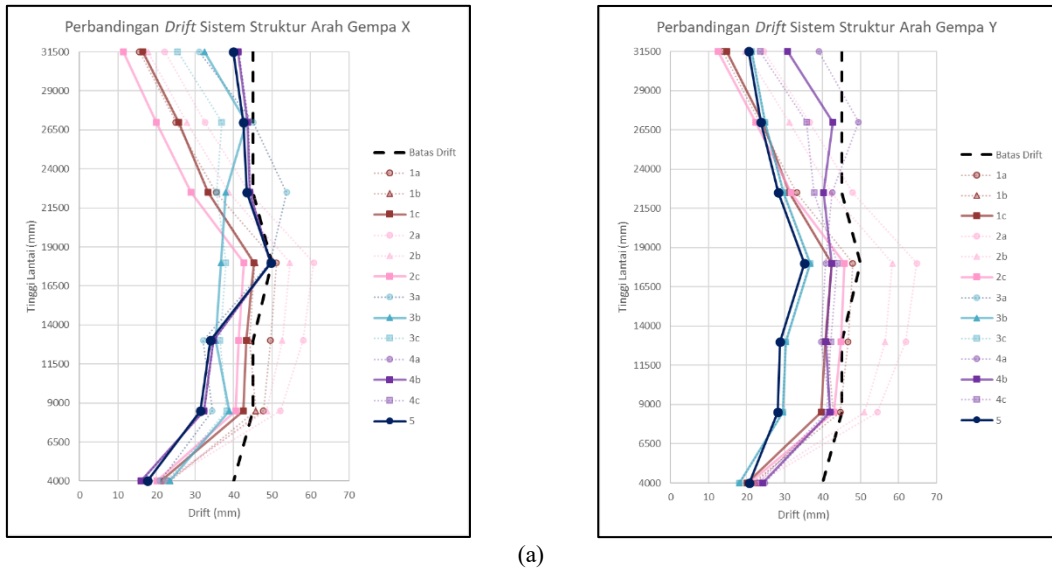
Sistem RBKK adalah sistem yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang baik, walaupun dapat menghasilkan perilaku yang kurang baik pada kondisi beban seismik, yaitu kapasitas *drift* yang rendah serta percepatan yang lebih tinggi (Sabelli, Roeder, & Hajar, 2013). Lebih lanjut, dijelaskan bahwa sistem RBKK adalah sistem yang direncanakan dan didetailkan secara khusus untuk memaksimalkan kapasitas *drift* inelastik, dengan sumber utama kapasitasnya dari perilaku tekuk dan leleh pada elemen – elemen breising diagonal. Oleh karenanya, diberikan aturan tambahan untuk perencanaan balok, kolom serta sambungan untuk memastikan perilaku daktail yang diharapkan, sebagaimana diatur dalam (SNI 7860, 2020).

Adapun dalam perencanaan, untuk memastikan perilaku inelastik terjadi pada breising, (SNI 7860, 2020) mewajibkan elemen lainnya termasuk sambungan STGS dianalisis dengan beban berdasarkan kapasitas breising terekspektasi, baik terekspektasi tarik ($R_y F_y A_g$) maupun terekspektasi tekan ($1/0.877 F_{cre} A_g$), serta kondisi breis pasca tekuk terekspektasi (0.3 kali kapasitas terekspektasi tekan). Prinsip analisis ini selain mempengaruhi elemen dan sambungan STGS, juga mempengaruhi dalam pemilihan konfigurasi breising yang akan digunakan. Dimana akibat kapasitas terekspektasi yang dapat memicu gaya dalam yang besar pada elemen, misalnya momen lentur pada balok, maka disarankan untuk menggunakan sistem *Multistorey X bracing* untuk mengantisipasi kondisi *unbalanced force* tersebut (AISC 341, 2016; Sabelli dkk., 2013).

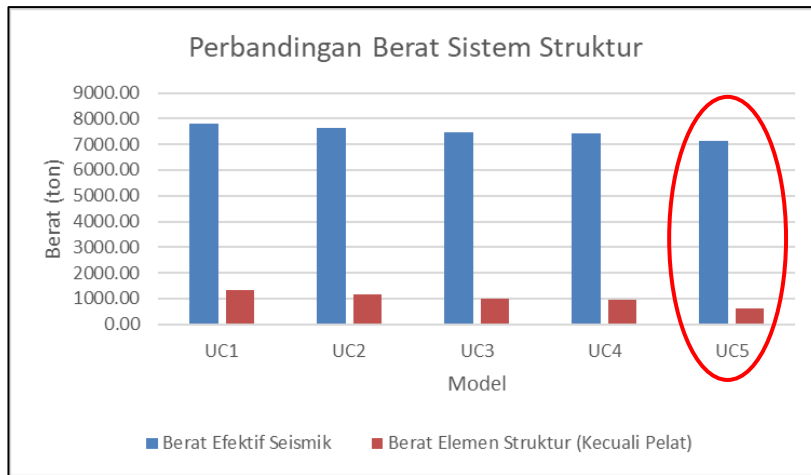
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perbandingan sistem struktur

Dari 5 model struktur yang dicoba dan dianalisis *drift*-nya, maka didapatkan bahwa semua sistem struktur dicoba dapat mencapai kondisi terpenuhi syarat *drift* (Gambar 3), namun jika dibandingkan terhadap parameter berat struktur, baik berat seismik efektif, maupun berat material baja saja (termasuk breising), didapatkan hasil bahwa model 5 (model terpilih) adalah yang paling ringan (Gambar 4). Hal ini dimungkinkan karena jika dibandingkan dengan sistem struktur RPMK, kolom pada sistem RBKK tidak semua bertugas sebagai STGS, dan kebanyakan hanya bertugas menahan beban gravitasi (non STGS), sehingga memungkinkan untuk menggunakan kolom yang lebih kecil dibandingkan dengan profil kolom pada sistem RPMK yang umumnya bertugas sebagai STGS sehingga harus ditingkatkan dimensinya untuk memperbesar kekakuan untuk memenuhi *drift*. Lebih lanjut sistem RBKK memiliki breising, meningkatkan kekakuan struktur, yang posisinya pada lokasi tertentu saja sehingga ada kolom STGS yang fokus menahan beban seismik (serta beban gravitasi pada portal STGS), dan ada kolom non STGS yang fokus menahan beban gravitasi saja.



Gambar 3. (a) Perbandingan *Drift* Arah x; (b) Perbandingan *Drift* Arah y. (Hasil analisis, 2024)



Gambar 4. Perbandingan Berat Sistem Struktur. (Hasil analisis, 2024)

4.2. Kontrol Keamanan Global Struktur

Awalnya pemodelan pada *software* ETABS dikontrol terhadap beberapa parameter. Mulai dari, perhitungan berat seismik efektif secara manual dan dibandingkan dengan perhitungan *software* untuk model terpilih didapati selisih hasil 0.67%, dengan selisih yang relatif kecil tersebut maka dikategorikan bahwa elemen struktur serta beban (hidup dan mati) telah dimodelkan dengan baik. Kemudian, dari data berat struktur manual tersebut dihitung gaya geser dasar *equivalent lateral force* (ELF) dan dibandingkan dengan gaya geser dasar ELF hasil analisis *software* dengan hasil selisih sebesar 0.07%, hal ini menunjukkan bahwa parameter gempa telah dimodelkan dengan baik. Lebih lanjut, karena analisis gempa yang akan digunakan adalah *modal response spectrum analysis* (MRSA), maka diperiksa partisipasi massa pada jumlah ragam yang digunakan pada *software*, dengan nilai partisipasi massa sebesar 99.87% dan 99.63% pada tipe kekakuan linier, sehingga sudah memenuhi persyaratan Pasal 7.9.1.1 (SNI 1726, 2019), yaitu partisipasi massa minimal lebih daripada 90%.

Lalu, dicek parameter fundamental struktur, dimana yang digunakan pada *software* telah diintervensi sesuai dengan aturan penentuan periode, dengan nilai periode fundamental struktur (T) pada kekakuan linier $T_{\text{strength-x}} = T_{\text{strength-y}} = 0.908$ s (T_{maks}), serta $T_{\text{drift-x}} = 1.183$ s dan $T_{\text{drift-y}} = 0.927$ s. Nilai T_{drift} dimungkinkan untuk mengikuti hasil analisis komputer, T_{computed} , yang nilainya lebih besar daripada T_{maks} (SNI 1726, 2019). Lalu, untuk perbandingan gaya geser dasar MRSA terhadap ELF telah dicek dan diskalakan pada setiap model iterasi dengan perbandingan 1.00 untuk kedua arah gempa, sesuai prasyarat Pasal 7.9.1.4.1 (SNI 1726, 2019).

Setelah model ETABS dicek, kemudian dilanjutkan dengan pengecekan parameter syarat keamanan global. Pertama berdasarkan Tabel 4, struktur tidak memiliki ketidakberaturan baik *horizontal irregularity* (HI) maupun *vertical irregularity* (VI) untuk semua tipe ketidakberaturan, sehingga konsekuensi ketidakberaturan struktur, Pasal 7.3.3 (SNI 1726, 2019, hlm. 58), terhadap analisis dengan gaya seismik tidak diterapkan. Selanjutnya, berdasarkan hasil analisis untuk dua arah simpangan antar tingkat, Δ , pada Tabel 4, nilai $\Delta < \Delta_{\text{maks}}$, sehingga struktur memenuhi syarat *drift*. Lalu, dari syarat stabilitas, dengan parameter θ , ditunjukkan bahwa nilai $\theta < \theta_{\text{maks}}$, sehingga struktur aman dan tidak perlu dianalisis dengan mempertimbangkan P-delta, walaupun demikian karena prasyarat desain baja, (SNI 1729, 2020), maka analisis kekuatan tetap mempertimbangkan efek P-delta.

Lebih lanjut, untuk penerapan beban nosional, dikarenakan hasil pemeriksaan perbandingan *drift* orde kedua terhadap *drift* order pertama pada tabel 4 menunjukkan hasil $\frac{\Delta_{2nd}}{\Delta_{1st x}} < 1.7$, maka beban nosional tidak diterapkan pada kombinasi beban seismik, dan hanya pada beban gravitasi saja. Yang terakhir, untuk faktor redundansi, ρ , dikarenakan pada lantai yang menahan gaya geser dasar lebih dari 35% (lantai 1 s.d. 6), memiliki minimal 2 bentang perimeter sistem penahan gaya seismik, maka diijinkan untuk menggunakan $\rho = 1.0$, dan tidak perlu menggunakan $\rho = 1.3$, dimana ρ digunakan sebagai faktor pengali beban seismik, hal ini sesuai yang diatur pada (SNI 1726, 2019).

Tabel 4. Kontrol Keamanan Global Struktur. (Hasil analisis, 2024)

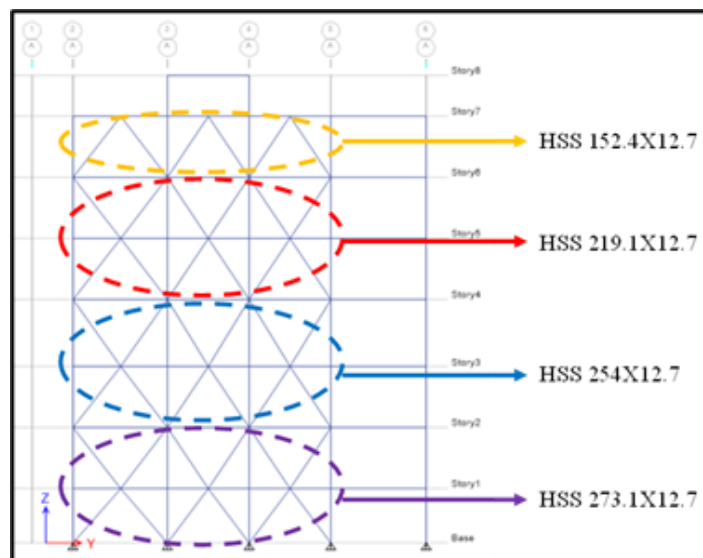
Lt.	HI1	HI2	HI3	HI4	HI5	VI1	VI2	VI3	VI4	VI5	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	Δ_{maks} (mm)	θ_x	θ_y	θ_{maks}	$\frac{\Delta_{2nd}}{\Delta_{1st x}}$	$\frac{\Delta_{2nd}}{\Delta_{1st y}}$
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39.95	20.50	45	0.047	0.041		1.02	1.01
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.53	23.80	45	0.018	0.011		1.02	1.01
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43.50	28.37	45	0.016	0.011		1.03	1.01
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49.65	35.16	50	0.016	0.012	0.1	1.03	1.02
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.98	28.84	45	0.013	0.011		1.03	1.02
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31.36	28.18	45	0.013	0.012		1.03	1.02
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.71	20.70	40	0.009	0.010		1.02	1.02

4.3. Perencanaan Elemen Struktur

Pertama, beising. Hasil analisis geometrik dan kapasitas breising sesuai dengan konfigurasi lokasi breising (Gambar 5) disajikan pada Tabel 5. Dari aspek material, ASTM A1085, sudah memenuhi prasyarat spesifikasi material untuk profil bundar berongga (*circular hollow steel*

section) yang ditentukan dalam Pasal A3.1 (SNI 7860, 2020, hlm. 2). Kemudian, dari aspek kekompakan profil (λ), dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa λ setiap profil breising yang digunakan lebih kecil daripada batas maksimum kekompakan profil daktail (λ_{hd}), sehingga profil sudah memenuhi prasyarat *highly ductile profile*. Selanjutnya, dari aspek kelangsingan, semua profil breising memiliki kelangsingan (KL/r) < 200 (Tabel 5, sehingga sudah memenuhi syarat kelangsingan. Yang terakhir, dari segi kapasitas yang dianalisis dengan kombinasi pembebanan LRFD yang memperhatikan beban ortogonal, didapati bahwa breising yang dimodelkan *pinned* pada sambungannya, terkontrol terhadap gaya aksial tekan, dengan rasio kapasitas butuh terhadap kapasitas tersedia (D/C) profil breising yang digunakan sudah memenuhi, sebagaimana data D/C dari perwakilan profil pada Tabel 5. Lebih lanjut, dimensi profil yang digunakan sudah cukup optimal yang ditandai dengan nilai D/C > 0.9. Adapun pemilihan profil breising selain memperhatikan kapasitasnya terhadap beban rencana, juga memperhatikan perannya terhadap keamanan global (misalnya *drift*) serta pengaruhnya terhadap elemen lainnya melalui kapasitas terekspektasi breising yang menentukan dalam desain kapasitas.

Untuk balok, hasil analisis geometrik balok, dengan materil ASTM A572 Gr 50 yang sudah memenuhi syarat material daktail, disajikan pada Tabel 6 dengan profil yang kompak kecuali H350X175X6X9. Adapun konsekuensi dari balok non-kompak, sudah dikalkulasikan dalam analisis kapasitas lentur profil. Lebih lanjut untuk balok STGS, ditemui bahwa H400X200X8X13 bersifat *moderately ductile* (MD), memenuhi standard (AISC 341, 2010) namun tidak memenuhi standard terbaru yaitu (AISC 341, 2016) yang diterjemahkan menjadi (SNI 7860, 2020), dimana hal ini tidak mendapatkan peringatan pada *software* yang digunakan, sehingga perlu kewaspadaan dari perancang dalam menginterpretasi hasil analisis *software*.



Gambar 5. Konfigurasi Breising. (Hasil analisis, 2024)

Tabel 5. Hasil Analisis Geometrik dan Kapasitas Breising. (Hasil analisis, 2024)

Profil	λ	λ_{hd}	KL/r	$(KL/r)_{maks}$	D/C	Ket
HSS152.4X12.7	12.00		114.25		0.914	HD, $KL/r < 200$
HSS219.1X12.7	17.25	24.228	77.46	200	0.904	HD, $KL/r < 200$
HSS254X12.7	20.00		71.05		0.929	HD, $KL/r < 200$
HSS273.1X12.7	21.50		61.63		0.923	HD, $KL/r < 200$

Tabel 6. Hasil Analisis Geometrik Balok. (Hasil analisis, 2024)

Profil	λ_f	λ_{pf}	λ_{HDf}	λ_w	λ_{pw}	λ_{HDw}	Ket
H250X125X6X9	6.94	9.15		38.67	90.53		C
H350X175X6X9	9.67	9.15		54.67	90.53		NC
H400X200X8X13	7.69	9.15	7.65	46.75	90.53	53.9	C, MD
H600X300X14X23	6.57	9.15	7.65	39.14	90.53	50.6	C, HD

Tabel 7. Hasil Analisis Kapasitas Balok Prakomposit. (Hasil analisis, 2024)

Profil	D/C _{flexure}	D/C _{shear}	Δ_{LL}	Δ_{LL_all}	Δ_{tot}	Δ_{tot_all}	Ket.
H250X125X6X9	0.99	0.18	0.19	19.44	0.79	29.17	Shored, min. 2
H350X175X6X9	0.85	0.16	0.69	19.44	3.10	29.17	Shored, at mid.
H400X200X8X13	0.78	0.09	0.31	19.44	1.57	29.17	Shored, at mid.

Kemudian untuk kapasitas balok komposit, pada tahap prakomposit (Tabel 7) didapati hasil balok memenuhi kapasitas butuh penampang ($D/C_{flexure}$ & D/C_{shear}) serta syarat lendutan (Δ_{LL} & Δ_{tot}) dengan kondisi shoring yang perlu dipenuhi. Pada kondisi komposit (Tabel 8), kapasitas lentur dan lendutan balok sudah memenuhi syarat, lebih lanjut jumlah *shear stud* sudah dihitung berdasarkan beban rencana balok dengan mempertimbangkan arah *ribs metal deck*, serta persen aksi komposit ($\Sigma Q_n/C_f$) yang bervariasi (*partially composite action*). Selain balok komposit, balok non komposit (Tabel 9) juga sudah didesain dengan memenuhi prasyarat kapasitas profil serta lendutan ijin.

Tabel 8. Hasil Analisis Kapasitas Balok Komposit. (Hasil analisis, 2024)

Profil	D/C _{flexure}	D/C _{shear}	Δ_{LL}	Δ_{LL_all}	Δ_{tot}	Δ_{tot_all}	Arah Ribs	$\Sigma Q_n/C_f$	η_{ada}
H250X125X6X9	0.99	0.47	11.98	16.67	18.86	25	⊥	53%	17
H350X175X6X9	0.93	0.34	9.05	16.67	15.77	25		83%	36
H400X200X8X13	0.94	0.39	11.55	19.44	21.55	29.17		26%	18

Tabel 9. Hasil Analisis Kapasitas Balok Non Komposit. (Hasil analisis, 2024)

Profil	D/C _{flexure}	D/C _{shear}	Δ_{LL}	Δ_{LL_all}	Δ_{tot}	Δ_{tot_all}	Ket.
H400X200X8X13	0.611	0.092	0.281	16.67	0.572	25	Balok tangga
	0.961	0.269	0.693	19.44	0.964	29.17	Balok dengan bukaan
H600X300X14X23	0.261	0.109	0.133	19.44	0.177	29.17	Balok dengan bukaan

Untuk balok STGS (Tabel 10) ditemukan bahwa balok yang digunakan pada lantai 1 – 6 belum memenuhi syarat kapasitas kekuatan yaitu balok dengan 4 lengan breising (4LB), sebagai profil alternatif diusulkan penggunaan H600X300X14X23 yang masih memerlukan perkuatan terhadap geser, misalnya dengan menggunakan pengaku transversal (Dewobroto, 2016, hlm. 471). Adapun *unbalanced force* merupakan gaya penentu, dengan gaya dalam momen yang cukup besar pada kondisi 2LB akibat tidak adanya breising penyeimbang pada sisi atas balok, serta gaya geser yang cukup besar pada 4LB yang dominan dipengaruhi oleh geser lokal akibat keberadaan breising, sebagaimana dihitung menurut persamaan dari (Fortney & Thornton, 2017). Lebih lanjut untuk memenuhi kebutuhan breising lateral pada balok sebagaimana diatur pasal D1.2a sesuai kebutuhan pasal F2.4b (SNI 7860, 2020), maka digunakan profil H250X125X6X9 dengan kapasitas aksial tekan serta kekakuan minimum yang sudah memenuhi persyaratan.

Tabel 10. Hasil Analisis Kapasitas Balok STGS. (Hasil analisis, 2024)

Lokasi	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)	Profil	ϕM_n (kNm)	ϕV_n (kN)	ϕP_n (kN)	D/C
2LB	1429.2	1040.4	1185.7	H600X300X14X23	1586.48	1746.36	6664.83	0.60 (v), 0.96 (p-M)
4LB	397.7	3551.7	222.7	H400X200X8X13	269.95	672	2499.1	5.30 (v), 1.52 (p-M)
	516.7	5256.5	222.7	H600X300X14X23	1586.48	1746.36	6664.83	2.03 (v), 0.32 (p-M)

Ketiga, elemen kolom, yang terdiri atas kolom STGS dan non-STGS, dimana keduanya menggunakan material ASTM A992 Gr. 50 yang sudah memenuhi syarat material daktail (SNI 7860, 2020). Hasil analisis geometrik-nya (Tabel 11) menunjukkan bahwa profil terpilih adalah kompak, C, sesuai syarat komponen lentur, lalu non langsing, NL, sesuai syarat komponen tekan baik sayap maupun badan kemudian daktail tinggi, HD, sesuai syarat elemen STGS RBKK.

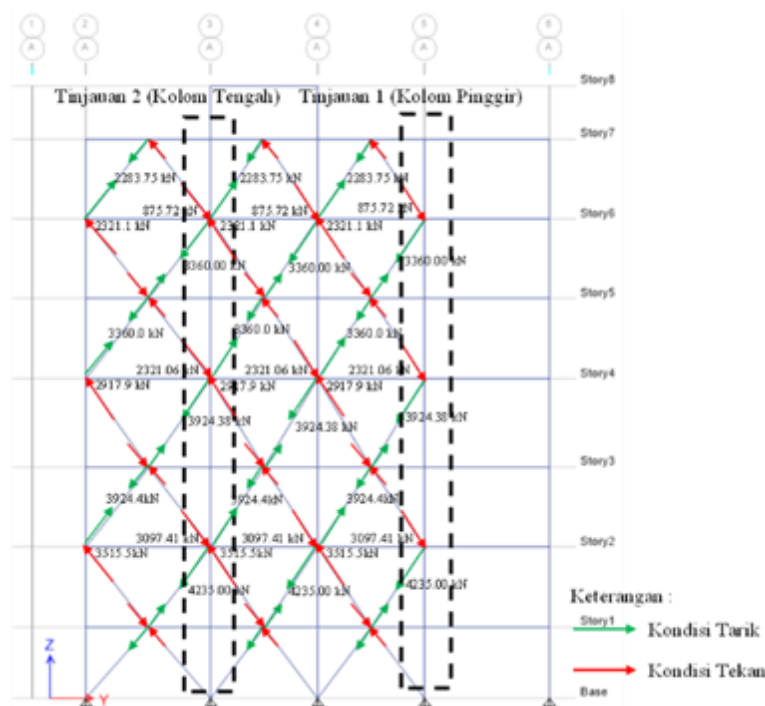
Tabel 11. Hasil Analisis Geometrik Kolom. (Hasil analisis, 2024)

Profil	λ_f	$\lambda_{pflexure_f}$	$\lambda_{pcompression_f}$	λ_{HDf}	λ_w	$\lambda_{pflexure_w}$	$\lambda_{pcompression_w}$	λ_{HDw}	Ket
H250X250X11X18	7.00	9.08	13.39	7.65	20.18	89.88	35.62	44.7	C, NL, HD
H300X300X12X21	7.19	9.08	13.39	7.65	22.50	89.88	35.62	38.5	C, NL, HD
H400X314	5.00	9.08	13.39	7.65	13.06	89.88	35.62	35.8	C, NL, HD
H400X509	3.34	9.08	13.39	7.65	8.12	89.88	35.62	38.4	C, NL, HD

Kemudian untuk kapasitasnya (Tabel 12), kolom terpilih sudah aman ($D/C < 1$) baik untuk kolom STGS maupun non-STGS. Adapun profil kolom STGS ditentukan oleh kapasitas tekan akibat beban menurut desain kapasitas yang didasarkan pada kapasitas breising terekspektasi (ilustrasi mekanisme breising ditunjukkan pada Gambar 6). Adapun untuk balok non-STGS ditentukan oleh beban gravitasi. Penggunaan sistem RBKK pada kasus ini menyebabkan dimungkinkannya penggunaan kolom dengan dimensi yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan sistem lain yang dibandingkan, yang kemudian menyebabkan berat struktur secara kolektif lebih ringan (Gambar 4).

Tabel 12. Hasil Analisis Kapasitas Kolom. (Hasil analisis, 2024)

Jenis	Lokasi	Profil	D/C	Ket
STGS	Lt 1 - 2	H400X509	0.93	Terkendali tekan, desain kapasitas
STGS	Lt 3 - 7	H400X314	0.96	Terkendali tekan, desain kapasitas
Non-STGS	Lt 1 - 4	H300X300X12X21	0.98	Terkendali tekan, beban gravitasi
Non-STGS	Lt 5 - 7	H250X250X11X18	0.68	Terkendali tekan, beban gravitasi
Non-STGS	Bukaan Lt 1	H400X314	0.28	Terkendali tekan, beban gravitasi

**Gambar 6.** Ilustrasi Kapasitas Breising Terekspektasi Untuk Desain STGS. (Hasil analisis, 2024)

Elemen yang terakhir yakni, pelat. Pelat didesain berperilaku satu arah, pembebanan dilakukan dengan variasi keberadaan beban hidup pada bentangan perwakilan terpilih. Adapun rekapitulasi penulangan ditunjukkan pada Tabel 13, dengan *metal deck* selain digunakan sebagai bekisting beton, juga digunakan sebagai tulangan lentur positif dengan kebutuhan *shoring* saat konstruksi untuk bentang lebih dari 2.27 m. Lebih lanjut, *wiremesh* digunakan selain sebagai tulangan lentur negatif juga untuk memenuhi kebutuhan tulangan susut dan suhu. Berdasarkan hasil analisis kapasitas geser satu arah, didapati hasil bahwa kapasitas geser beton cukup untuk menahan gaya dalam rencana sehingga tidak diperlukan lagi tambahan tulangan untuk geser.

Tabel 13. Hasil Analisis Penulangan Pelat. (Hasil analisis, 2024)

Lokasi	Jenis tulangan	M _u (kNm)	A _{Sperlu} (mm ²)	A _{Sada} (mm ²)	S _{max} (mm)	S _{ada} (mm)	V _u (kN)	φV _c (kN)	Ket
Umum	Momen positif	10.23	232.9	889.69	-	-			Metal deck BMT 0.7, f _y = 450 MPa
	Momen negatif	-14.84	487.79	754	331.5	150			Wiremesh M12 - 150, f _y = 420 MPa
	Tulangan susut-suhu		198.9	754	450	150			Wiremesh M12 - 150, f _y = 420 MPa
	Geser						33.13	84.15	Tidak perlu tul. geser
Atap	Momen positif	10.23	232.9	889.69	-	-			Metal deck BMT 0.7, f _y = 450 MPa
	Momen negatif	-14.84	487.79	754	331.5	150			Wiremesh M12 - 150, f _y = 420 MPa
	Tulangan susut-suhu		198.9	754	450	150			Wiremesh M12 - 150, f _y = 420 MPa
	Geser						28.41	84.15	Tidak perlu tul. geser

4.4. Perencanaan Sambungan Struktur

Analisis sambungan, baik analisis geometri maupun kapasitas, dilakukan dengan bantuan *software RAM Connection* dengan tinjauan pada beberapa lokasi dan kondisi (umum maupun khusus) yaitu : sambungan balok anak – balok induk (Tabel 14); sambungan geser/ momen (MEP) girder – sayap/badan kolom (BCF/BCW) (Tabel 15); kolom splais seismik (CS-S) dan non seismik (CS-NS) (Tabel 16); sambungan *gusset plate* breising – balok (GP BB) dengan 2 (GP BB 2L) atau 4 lengan breising (GP BB 4L) (Tabel 17); sambungan breising – balok – kolom (GP BBC 2L/ BBC 4L) (Tabel 17); serta *baseplate*, Tabel 18 baik seismik (BP-S1L/ BP-S 2L) maupun nonseismik (BP-NS).

Adapun geometri dan kapasitas sambungan sudah memenuhi persyaratan, dengan $D/C < 1$. Geometri sambungan didesain dengan mempertimbangkan kemudahan konstruksi, yaitu dengan menentukan bagian yang akan dilas di *workshop* serta yang akan dipasang menggunakan baut di lokasi proyek. Dari sisi kapasitas, sambungan balok non STGS, karena hanya menahan beban gravitasi sehingga ditentukan oleh beban gravitasi. Pada sistem STGS, umumnya kapasitas sambungan dipengaruhi oleh desain kapasitas. Secara khusus pada kolom splais dan *baseplate* non STGS, faktor beban desain minimum juga dominan mempengaruhi. Lebih lanjut, pada kolom splais non STGS kombinasi beban syarat integritas menentukan..

Sebagai catatan tambahan dikarekan *baseplate* STGS, ukuran *plate* dan *support* beton yang relatif besar, maka masih memerlukan optimasi desain. Demikianpun untuk badan balok BBC 2L/4L, yang kapasitasnya tidak memenuhi, belum didetailkan perkuatannya untuk meningkatkan kapasitas *web shear yielding*, baru berupa model dengan badan balok yang diperbesar, $t_w = 26$ mm, pada H400X200X8X13.

Tabel 14. Hasil Analisis Sambungan Geser Balok Anak Ke Balok Induk. (Hasil analisis, 2024)

Tipe	V _u (kN)	M _u (kNm)	Profil balok anak yang disambung	Penyambung	Titik sambung	Metode sambung	D/C	Penentu keruntuhan
Umum	150	-	H250X125X6X9	Pelat A36 6.35x85x200mm	Badan balok induk	Las 3/16in E70XX	0.92	<i>Shear rupture plate</i>
					Badan balok anak			
Khusus	158	-	H350X150X6X9	Pelat A36 6.35x85x200 mm	Badan balok induk	Las 3/16in E70XX	0.97	<i>Shear rupture plate</i>
					Badan balok anak			

Tabel 15. Hasil Analisis Sambungan Geser Balok Girder ke Kolom. (Hasil analisis, 2024)

Tipe	V_u (kN)	P_u (kN)	M_u (kNm)	Profil girder yang disambung	Penyambung	Titik sambung	Metode sambung	D/C	Penentu keruntuhan
BCW1, umum	238	-	-	H350X150 X6X9	Pelat A36 6.35x90x295mm	Badan kolom Badan balok girder	Las 3/16in E70XX 4 baut 5/8" A490X	0.98	Block shear at plate
BCW2, khusus	258	-	-	H400X200 X8X13	Pelat A36 6.35x90x345 mm	Badan kolom Badan balok girder	Las 3/16in E70XX 4 baut 5/8" A490X	0.99	Block shear at plate
BCF1, umum	141	-	-	H250X125 X6X9	Pelat A36 6.35x85x190 mm	Sayap kolom Badan balok girder	Las 3/16in E70XX 3 baut 5/8" A490X	0.93	Shear rupture plate
BCF2, khusus	144	-	-	H350X150 X6X9	Pelat A36 6.35x90x295 mm	Sayap kolom Badan balok girder	Las 3/16in E70XX 4 baut 5/8" A490X	0.59	Block shear at plate
MEP1	1040			H600X300 X14X23	Pelat A572 Gr50 12.7x120x560 mm (shear conn.)	Sayap kolom Badan balok girder	Las 5/16in E70XX 5 baut 5/8" A490X	0.99	Bolts shear, block shear and shear rupture at plate
		1186	1429		Pl. A572 Gr 50 44.45x270x652.7 mm (moment conn.)	Sayap kolom Sayap balok girder	Full penetration 14 baut 5/8" A490X	0.93	Bolts shear at plate
					Both side doubler plate A36 25.4x289.8x632.1 (pengaku)	Sayap kolom Badan kolom	Fillet Las 3/16in E70XX		

Tabel 16. Hasil Analisis Kolom Splais. (Hasil analisis, 2024)

Tipe	V_u (kN)	P_u (kN)	M_u (kNm)	Profil yang disambung	Penyambung	Titik sambung	Metode sambung	D/C	Penentu keruntuhan
CS S1 Lt3	676			H400X509 & H400X314	Pelat A36 25.4x152.4x150 (shear conn.)	Badan kolom	1x2x2 baut 1" A490X	0.93	Bolts shear
		8199	1123		Pelat A36 2x25.4x440x560 (moment conn.)	Sayap kolom	4x4 (Top) & 3x4 (Bottom) baut 1" A490X	0.97	Bolts shear
CS S2 Lt5	499			H400X314 & H400X314	Pelat A36 25.4x152.4x150 (shear conn.)	Badan kolom	1x2x2 baut 1" A490X	0.68	Bolts shear
		3118	1123		Pelat A36 2x25.4x440x320 (moment conn.)	Sayap kolom	2x4 (Top) & 2x4 (Bottom) baut 1" A490X	0.89	Block shear
CS NS11 Lt3	80		-	H300X300 X12X21 & H300X300 X12X21	Pelat A36 6.35x120x110	Badan kolom	1x2x2 baut 5/8" A490X	0.98	Shear rupture plate
		915			Pelat A36 25.4x200x480	Sayap kolom	3x2 (Top) & 3x2 (Bottom) baut 1" A490X	0.86	Tension rupture plate
CS NS12 Lt3	80		-	H400X314 & H300X300 X12X21	Pelat A36 6.35x120x110	Badan kolom	1x2x2 baut 5/8" A490X	0.98	Shear rupture plate
		960			Pelat A36 25.4x200x550	Sayap kolom	2x2 (Top) & 2x2 (Bottom) baut 1" A490X	0.90	Tension rupture plate
CS NS2 Lt5	80		-	H300X300 X12X21 & H250X250 X11X18	Pelat A36 6.35x120x110	Badan kolom	1x2x2 baut 5/8" A490X	0.58	Shear rupture plate
		549			Pelat A36 25.4x200x340	Sayap kolom	4 (Top) & 4 (Bottom) baut 1" A490X	0.96	Bolts shear
CS NS3 Lt8	61.4		98.7	H400X314 & H250X250 X11X18	Pelat A36 6.35x120x110	Badan kolom	1x2x2 baut 5/8" A490X	0.75	Shear rupture plate
		1200			Pelat A36 25.4x220x620	Sayap kolom	5x2 (Top) & 3x2 (Bottom) baut 1" A490X	0.99	Tension rupture plate

Tabel 17. Hasil Analisis Sambungan Bresing, Balok dan Kolom. (Hasil analisis, 2024)

Tipe	Elemen	Penyambung	Titik sambung	Metode sambung	D/C	Beban penentu keruntuhan	Penentu keruntuhan
GP-BB 2L	Gusset bawah	Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm	Sayap balok	Las 5/16in E70XX	0.98	Kapasitas breising terekspektasi	HSS wall shear rupture
	Breising (kiri & kanan)	Pelat t = 12.7 mm Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm	Brace reinf. Pelat dan gusset plate Pelat dan breising	Las 6/16in E70XX, L = 270 mm 2x6 baut 1" A490X Las 10/16in E70XX, L = 270 mm			

Tipe	Elemen	Penyambung	Titik sambung	Metode sambung	D/C	Beban penentu keruntuhan	Penentu keruntuhan
GP-BB 4L	<i>Gusset</i> atas & bawah	Pelat A572 Gr50 t = 38.1 mm	Sayap balok	Las 8/16in E70XX	0.98	Kapasitas breising terekspektasi	<i>HSS wall shear rupture</i>
	Breising atas & bawah (kiri & kanan)	Pelat t = 12.7 mm Pelat A572 Gr50 t = 38.1 mm	<i>Brace reinf.</i> Pelat dan <i>gusset plate</i> Pelat dan breising	Las 6/16in E70XX, L = 500 mm 3x8 baut 1" A490X Las 10/16in E70XX, L = 500 mm			
GP-BBC 2L	Balok	Siku A572 Gr 50 EA200X200X25	Sayap kolom Badan balok	5x1x2 baut 1" A490X Las 7/16in E70XX	0.99	Kapasitas breising terekspektasi	<i>Weld capacity bracing to connector plate</i>
	<i>Gusset</i> atas & bawah	Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm Siku A572 Gr 50 EA200X200X25	Sayap balok Sayap kolom Siku dan <i>gusset plate</i>	Las 7/16in E70XX 7x1x2 baut 1" A490X Las 6/16in E70XX			
	Breising atas & bawah	Pelat t = 12.7 mm Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm	<i>Brace reinf.</i> Pelat dan <i>gusset plate</i> Pelat dan breising	Las 6/16in E70XX, L = 500 mm 3x7 baut 1" A490X Las 9/16in E70XX, L = 500 mm			
GP-BBC 4L	Balok kiri & kanan	Siku A572 Gr 50 EA200X200X25	Sayap kolom Badan balok	5x1x2 baut 1" A490X Las 6/16in E70XX	0.99	Kapasitas breising terekspektasi	<i>Weld capacity bracing to connector plate</i>
	<i>Gusset</i> atas & bawah	Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm Siku A572 Gr 50 EA200X200X25	Sayap balok Sayap kolom Siku dan <i>gusset plate</i> atas	Las 7/16in E70XX 7x1x2 baut 1" A490X Las 6/16in E70XX			
	Breising atas & bawah	Pelat t = 12.7 mm Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm	<i>Brace reinf.</i>	Las 5/16in E70XX, L = 500 mm			
			Pelat dan <i>gusset plate</i> Pelat dan breising atas Pelat dan breising bawah	3x8 baut 1" A490X Las 9/16in E70XX, L = 500 mm Las 10/16in E70XX, L = 500 mm			

Tabel 18. Hasil Analisis *Baseplate*. (Hasil analisis, 2024)

Tipe	Elemen	Penyambung	Titik sambung	Metode sambung	D/C	Beban penentu keruntuhan	Penentu keruntuhan
BP-S 1L	<i>Gusset</i>	Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm	<i>Baseplate</i>	Las 12/16in E70XX	0.98	Kapasitas breising terekspektasi	<i>HSS wall shear rupture, anchor tension, group of anchors reinforcement in tension</i>
	Breising	Pelat t = 12.7 mm Pelat A572 Gr50 t = 38.1 mm	Sayap kolom Siku dan <i>gusset plate</i>	7x1x2 baut 1" A490X Las 6/16in E70XX			
			<i>Brace reinf.</i> Pelat dan <i>gusset plate</i>	Las 6/16in E70XX, L = 500 mm 3x8 baut 1" A490X			
	Kolom <i>Baseplate</i>	Pelat A572 Gr50 127x850x2300 mm	Pelat dan breising Sayap kolom dan <i>baseplate</i>	Las 10/16in E70XX, L = 500 mm Las 9/16in E70XX			
			Pelat dan beton bertulang Perkuatan tarik angkur	3x4x2 angkur 1 ¼" F1554 Gr105, L _e = 100 mm 30 tul. no.11 0.42 kN/mm ²			
<i>Shear lug</i> pelat 76.2x140x850 Beton bertulang C 8-40 1000x2000x2500 mm t _{grout} = 25.4 mm	<i>Baseplate</i>	Las 12/16in E70XX					
BP-S 2L	<i>Gusset</i> kiri & kanan	Pelat A572 Gr50 t = 25.4 mm	<i>Baseplate</i>	Las 8/16in E70XX	0.98	Kapasitas breising terekspektasi	<i>HSS wall shear rupture</i>
	Breising kiri & kanan	Pelat t = 12.7 mm Pelat A572 Gr50 t = 38.1 mm	Sayap kolom Siku dan <i>gusset plate</i>	8x1x2 baut 1" A490X Las 6/16in E70XX			
			<i>Brace reinf.</i> Pelat dan <i>gusset plate</i> Pelat dan breising	Las 6/16in E70XX, L = 500 mm 3x8 baut 1" A490X Las 10/16in E70XX, L = 500 mm			
	Kolom <i>Baseplate</i>	Pelat A572 Gr50 127x1300x2300 mm	Sayap kolom dan <i>baseplate</i> Pelat dan beton bertulang	Las 9/16in E70XX 5x2x2 angkur 1 ¼" F1554 Gr105, L _e = 100 mm			
			Perkuatan tarik angkur	16 tul. no.11 0.42 kN/mm ²			
<i>Shear lug</i> pelat 127x170x1300 Beton bertulang C 8-40 1300x2500x2500 mm t _{grout} = 25.4 mm	<i>Baseplate</i>	Las 10/16in E70XX					

Tipe	Elemen	Penyambung	Titik sambung	Metode sambung	D/C	Beban penentu keruntuhan	Penentu keruntuhan
BP-NS1	Kolom		Sayap kolom dan <i>baseplate</i>	Las 5/16in E70XX	0.99	Beban geser minimum	<i>Shear lug (shear on the concrete)</i>
	<i>Baseplate</i>	Pelat A572 Gr50 38.1x370x370 mm	Pelat dan beton bertulang	1x2x2 angkur 1/2" F1554 Gr36, L _e = 70 mm			
	<i>Shear lug</i>	pelat 25.4x30x370	<i>Baseplate</i>	Las 5/16in E70XX			
		Beton bertulang C 5-40 210x510x510 mm					
BP-NS2	Kolom		Sayap kolom dan <i>baseplate</i>	Las 5/16in E70XX	1.00	Beban geser minimum	<i>Shear lug (shear on the concrete)</i>
	<i>Baseplate</i>	Pelat A572 Gr50 38.1x450x450 mm	Pelat dan beton bertulang	1x2x2 angkur 1/2" F1554 Gr36, L _e = 70 mm			
	<i>Shear lug</i>	pelat 25.4x60x450	<i>Baseplate</i>	Las 5/16in E70XX			
		Beton bertulang C 5-40 410x790x790 mm					

5. Kesimpulan

Struktur telah didesain menggunakan sistem RBKK dengan memperhatikan kaidah desain mulai dari pembebanan, penentuan elemen serta pendetailan sambungan, dengan elemen balok STGS (H400X200X8X3) yang didapati belum memenuhi persyaratan profil daktail dan kapasitas breising terekspektasi. Adapun untuk konfigurasi terpilih, adalah konfigurasi yang paling ringan, jika dibanding dengan model iterasi lainnya, sehingga berpotensi menurunkan harga material struktur yang digunakan. Untuk sambungan, telah didesain dengan memperhatikan kemudahan pemasangan, serta syarat pembebanan baik beban gravitasi, seismik, maupun kapasitas beban minimum pada sambungan dengan hasil desain yang sudah memenuhi persyaratan geometrik dan kapasitas.

Untuk ke depannya perlu dilakukan kajian lanjutan terkait perbandingan harga apabila digunakan material baja, dengan juga memperluas model sistem yang digunakan, misalnya dengan menggunakan portal baja terbreisi eksentris. Selain itu, pendalaman dapat dilakukan pada desain elemen maupun sambungan, misalnya tinjauan vibrasi pada rangkaian pelat lantai, perkuatan balok terhadap geser dan momen, dan perencanaan sambungan RBKK (breising-balok, breising-balok-kolom serta *baseplate* dengan breising). Sebagai tambahan, dalam penggunaan *software* perlu dilakukan kontrol desain untuk menghindari hasil desain yang tidak sesuai dengan pedoman perencanaan.

Referensi

- AISC. (t.t.). Structural Steel Design Tips: Quick Estimates and Rules of Thumb for Architecture Students. AISC. Diambil dari https://www.aisc.org/globalassets/aisc/university-programs/structural-steel-design-tips-for-architecture-students_062823.pdf
- AISC 341. (2010). Seismic Provisions for Structural Steel Building. AISC.
- AISC 341. (2016). Seismic Provisions for Structural Steel Building. AISC.
- Anonymous. (2021). *Desain Spektra Indonesia*,. Diambil 7 Juli 2023, dari Desain Spektra Indonesia—RSA - Kementerian PUPR website: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.4699&ss=1.0423&s1=0.4659&tl=12&kelas=4&range=6#grafik>
- Dewobroto, W. (2016). Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain—AISC 2010 (Edisi ke-2). Tangerang: Jurusan Teknik Sipil UPH.
- Fortney, P. J., & Thornton, W. A. (2017). *The Chevron Effect and Analysis of Chevron Beams—A Paradigm Shift. Engineering Journal*, 54(4), 263–296. <https://doi.org/10.62913/engj.v54i4.1121>
- Imran, I., & Hendrik, F. (2010). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: Penerbit ITB.
- Ruddy, J. L., & Ioannides, S. A. (2000). Rules Of Thumb For Steel Design. 1–3. Las Vegas. Diambil dari https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2000/02/2000v02_rules_of_thumb.pdf
- Sabelli, R. (2018, September). Seismic Design in Steel: Concepts and Examples Session L1: Planning the Seismic Design. Diambil dari https://www.youtube.com/watch?v=Ui_ytffL0Do&list=PLx7HczALbgqJub_tx0gpQnvkSz6u8mWto&index=5

- Sabelli, R., Roeder, C. W., & Hajjar, J. F. (2013). Seismic Design of Steel Special Concentrically Braced Frame Systems. *NEHRP Seismic Design Technical Brief*, 8.
- SNI 1726. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
- SNI 1727. (2020). Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- SNI 1729. (2020). Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.
- SNI 7860. (2020). Ketentuan seismik untuk bangunan gedung baja struktural.
- SNI 7972. (2020). Sambungan terpraktualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah baja pada aplikasi seismik.