

Studi Komparatif Penggunaan ASTM A36 dan ASTM A913M Untuk Perancangan dan Evaluasi Kinerja SRPMK Baja

Margeritha A. Morib^{1*}, Samuel Salimu¹, Berkat Zalukhu¹, Iwan Wikana¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta

*E-mail: margerithaagustina@ukrimuniversity.ac.id

ABSTRAK

Yogyakarta rentan gempa karena Sesar Oyo-Opak terus aktif dengan Kategori Desain Seismik (KDS) termasuk D. Penelitian ini mensimulasikan gedung hotel 10 lantai menggunakan SRPMK baja untuk KDS D sesuai SNI 7860:2020. Material ASTM A36 dan ASTM A913M disimulasikan untuk mendapatkan level kinerja, sendi plastis, penyerapan energi dan duktilitas. Pembebatan dihitung sesuai SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. *Demand capacity ratio* sesuai SNI 1729:2020 dan perencanaan sambungan mengikuti SNI 7972:2020. Analisis *pushover* untuk menentukan kinerja gedung menggunakan SAP2000 dengan metode ATC-40 dan FEMA 356. Balok menggunakan profil WF *hot rolled* dan kolom menggunakan profil WF tersusun untuk elemen kompak dan daktail. Hasil perancangan menunjukkan semua profil memenuhi persyaratan daktail tinggi dengan Lb yang sesuai dan ekonomis. Sistem sambungan menggunakan pelat sayap berbaut (PSB) dengan jumlah baut dan panjang sendi plastis dianalisis. Sendi plastis didefinisikan di ujung balok serta ujung-ujung kolom (SP₁) dan kolom lantai dasar (SP₂). Level kinerja maksimum total *drift* adalah *Immediate Occupancy* (IO) menurut ATC-40, sedangkan metode FEMA 356 menghasilkan *Immediate Occupancy* (IO) untuk total *drift* dan *Life Safety* (LS) untuk *inelastic drift*. ASTM A913M lebih kuat namun ASTM A36 lebih daktail dan lebih tepat di terapkan di daerah KDS D.

Kata kunci: ASTM A36, ASTM A913M, Baja, SRPMK, Pushover

ABSTRACT

Yogyakarta is prone to earthquakes because Oyo-Opak Fault continues to be active with the Seismic Design Category (SDC) D. This study simulates a 10-storey hotel building using steel SMRF for SDC D in accordance with SNI 7860:2020. ASTM A36 and ASTM A913M materials are simulated to obtain performance levels, plastic hinges, energy dissipation and ductility. Load calculated according to SNI 1727:2020 and SNI 1726:2019. Demand capacity ratio in accordance with SNI 1729:2020 and the connection design follows SNI 7972:2020. Pushover analysis to determine building performance using SAP2000 with ATC-40 and FEMA 356 methods. Design results of the hot rolled WF beams and built-up member WF columns show that all profiles meet the requirements of high ductile with suitable and economical Lb. Connection system uses bolted on wing plates with number of bolts and length of the plastic hinges analyzed. Plastic hinges are defined at the ends of the beams as well as the ends of the columns (PH₁) and ground floor columns (PH₂). Maximum performance level of total drift is Immediate Occupancy (IO) according to ATC-40, while FEMA 356 method results in Immediate Occupancy (IO) for total drift and Life Safety (LS) for inelastic drift. ASTM A913M is stronger but ASTM A36 is more ductile and more appropriate to apply in the SDC D area.

Keywords: ASTM A36, ASTM A913M, Steel, SMRF, Pushover

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng Indo-Australia, Pacific dan Eurasia mengakibatkan banyaknya sesar aktif dan aktivitas seismik tinggi. Pemilihan sistem struktur untuk daerah dengan Kategori Desain Seismik (KDS) tinggi (D, E dan F) serta prosedur perancangan yang tepat, menentukan kinerja bangunan saat terjadi gempa besar. Gempa dengan kala ulang 2500 tahun dengan probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun perlu diantisipasi dengan baik.

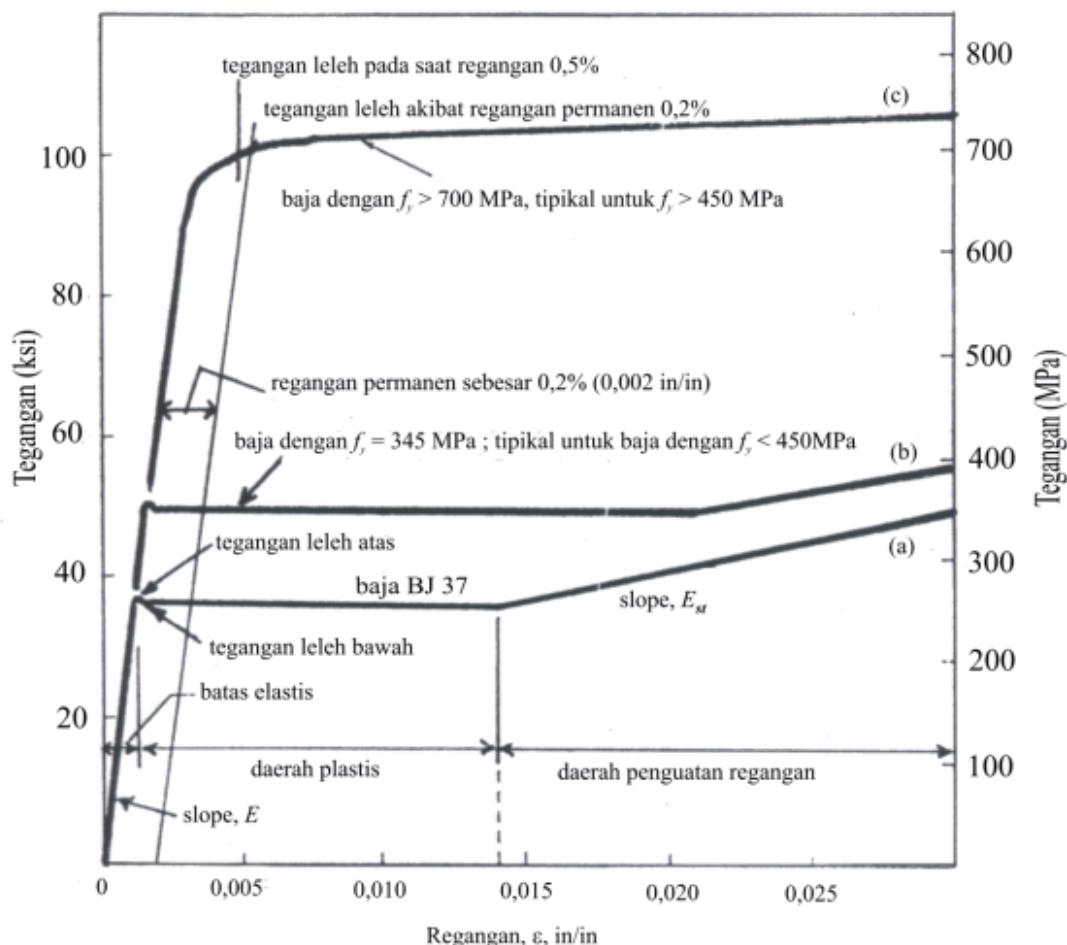
Baja merupakan material struktur daktail yang sangat baik digunakan untuk daerah dengan KDS tinggi. Duktilitas tinggi pada baja ditunjukkan dengan kondisi saat menerima tegangan tarik yang tinggi akan terjadi regangan tarik yang cukup besar sebelum mengalami keruntuhan (Zachari & Turuallo, 2020). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) baja adalah sistem penahanan gaya seismik yang direncanakan dan didetail untuk mampu menahan gaya gempa desain. Persyaratan desain SRPMK baja mengacu pada tiga buah standar yaitu SNI 1729:2020, SNI 7860:2020 dan SNI 7972:2020.

Sistem penahan gaya seismik didesain untuk dapat berperilaku inelastik dan mampu menyerap energi gempa secara maksimal. Saat terjadi gempa yang melampaui gempa desain, bangunan tidak langsung mengalami keruntuhan tetapi diizinkan untuk mengalami kerusakan struktural melalui peleahan inelastik pada titik-titik tertentu yang telah direncanakan dan dapat diantisipasi dengan baik. Titik-titik lemah tersebut (*fuse*) juga berfungsi sebagai tempat menyerap energi (*energy dissipation*) sementara bagian lain dari struktur tetap elastis. Kerusakan akan terjadi secara lokal, terisolir, mudah dideteksi serta mudah diperbaiki pasca gempa. Bagian lemah yang terkendali dalam standar masuk bagian yang disebut “*protected zone*” atau “zona terlindung”. Bagian tersebut harus menggunakan material, yang tidak hanya memenuhi ketentuan minimum tetapi juga ada kepastian batas maksimumnya (Dewobroto, 2018). Pada daerah inelastik ini, persyaratan daktilitas profil menjadi sangat penting. SNI 7860:2020 mengatur pembatasan penampang profil baja harus memenuhi syarat daktilitas tinggi (*high ductile member*) yaitu λ_{hd} dan daktilitas menengah (*moderate ductile member*) yaitu λ_{md} . Profil baja di pasaran tidak otomatis memenuhi persyaratan *ductile member*. Hasil klasifikasi profil baja di pasaran Indonesia menunjukkan bahwa sebagian profil memiliki daktilitas tinggi pada sayap maupun badan profil. Sebagian lainnya menunjukkan bahwa sayap profil memenuhi syarat daktilitas tinggi dan menengah namun badan profil tidak memenuhi syarat. Baja profil sesuai ASTM A36 dan ASTM A913M sampai dengan profil WF 400.400.45.70 masih memenuhi syarat daktail tinggi dan menengah, sedangkan mulai profil WF 450.200.9.12 ke atas memiliki kapasitas tinggi namun tidak memenuhi persyaratan daktilitas (Morib, Wikana, et al., 2024).

Untuk memastikan kegagalan struktur terjadi akibat terbentuknya sendi-sendi plastis di ujung-ujung balok tanpa terjadi tekuk global, maka batasan panjang antara titik-titik yang diperkuat terhadap perpindahan lateral sayap tekan atau diperkuat terhadap puntir penampang (L_b) perlu direncanakan dengan tepat (SNI 7860:2020). Persyaratan *strong column weak beam* yaitu saat rasio momen nominal kolom di atas dan di bawah join dengan total proyeksi kekuatan lentur terekspektasi dari balok yang merangka ke kolom adalah lebih dari satu juga harus dipenuhi dalam desain (SNI 7860:2020). Untuk itu perlu didefinisikan momen maksimum yang mungkin terjadi pada sendi plastis (M_{pr}) yang sangat dipengaruhi oleh jenis sambungan momen yang dipilih saat perencanaan. Di sinilah ketentuan standar SNI 7972:2020 tentang sambungan terprakualifikasi untuk sistem rangka pemikul momen khusus dan menengah perlu diperhatikan.

Material penyusun baja adalah perpaduan dari logam besi dan beberapa unsur lainnya. Baja merupakan logam paduan atau material buatan yang terdiri dari Ferrum (Fe) sebagai unsur utama dan Carbon (C) sebagai unsur paduan. Tambahan variasi elemen lainnya menghasilkan jenis baja yang berbeda-beda. Berdasarkan komposisi paduan unsur logamnya, maka baja dibedakan menjadi baja karbon dan baja paduan. Material baja ASTM A36 merupakan baja karbon canai panas yang paling umum digunakan. Material ini ekuivalen dengan JIS G3101 SS 330 dengan kadar karbon kurang dari 0,25%. Baja ini merupakan baja lunak sehingga mudah dikerjakan namun memiliki ketangguhan besar dan cocok digunakan untuk SRPMK. Baja karbon memiliki titik peralihan leleh yang jelas. Tegangan leleh (f_y) baja karbon antara 210 – 250 Mpa. Naiknya kadar karbon meningkatkan tegangan leleh namun menurunkan daktilitasnya. Material baja ASTM A913M merupakan baja paduan yang termasuk *high strength low alloy (HSLA)*. Material ini memiliki tegangan leleh dan tegangan *ultimate* tinggi, memiliki ketangguhan yang baik dalam temperatur rendah dan mudah dilakukan pengelasan. HSLA memiliki tegangan leleh (f_y) antara 290-550 Mpa dengan tegangan ultimate (f_u) antara 315-700 Mpa. Tipikal diagram tegangan regangan berbagai material baja disajikan pada Gambar 1. Kedua jenis material ini, jika digunakan pada sistem struktur SRPMK tentu akan memberikan perilaku yang berbeda. Baja struktural yang digunakan dalam sistem penahan gaya seismik (STGS) harus memenuhi batasan tegangan leleh baja minimum terspesifikasi untuk komponen struktur yang berperilaku inelastis tidak boleh melampaui 345 MPa untuk SRPMK (SNI 7860:2020).

Lokasi bangunan, klasifikasi situs dan kategori risiko menentukan besarnya beban gempa desain yang akan diterima struktur. Lokasi bangunan untuk penelitian ini, ditetapkan berlokasi di wilayah yang memiliki percepatan gempa tertinggi di Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu Patuk, Gunung Kidul (Morib, Telaumbanua, et al., 2024). Parameter yang menentukan penentuan lokasi adalah percepatan gempa periode 0,2 detik (S_2) dan percepatan gempa periode 1 detik (S_1). Perhitungan beban gempa desain didasarkan pada SNI 1726:2019 untuk SRPMK baja. Dimensi profil optimum hasil rancangan diperoleh berdasarkan kombinasi beban terbesar termasuk beban mati, beban hidup dan beban gempa sehingga diperoleh *demand capacity ratio* optimum. Metode coba ralat dalam menentukan dimensi profil dilakukan selama profil yang dipilih memenuhi syarat sebagai profil *compact* dan termasuk *high ductile member* pada sayap maupun badan.



Gambar 1. Diagram tegangan regangan berbagai material baja

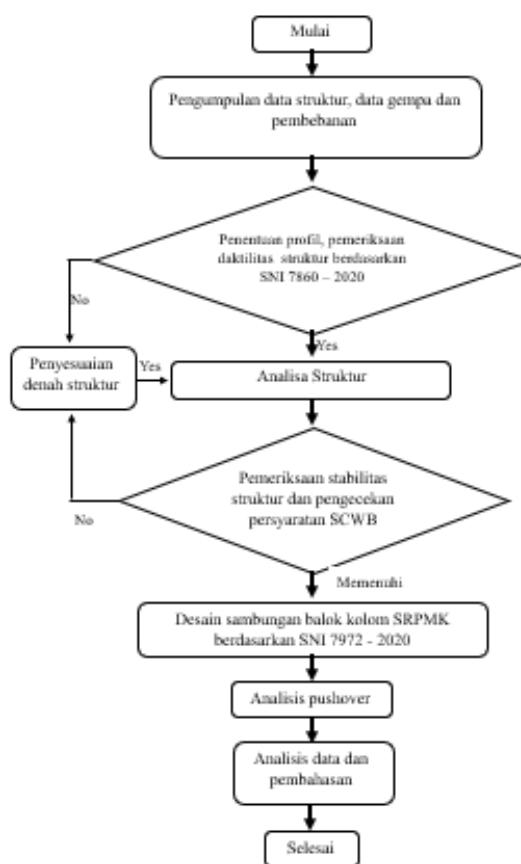
Evaluasi kinerja struktur dilaksanakan dengan metode analisis statik *pushover* untuk mendapatkan hubungan gaya geser dasar dan perpindahan atap serta kurva respons spektrum *demand*. Analisis ini membantu memodelkan perilaku struktur saat terjadi sendi plastis dengan penggunaan material ASTM A36 dan ASTM A913M dan memberikan pemahaman mendalam tentang kinerja baja dalam menghadapi gempa. Titik kinerja (*performance point*) dari bangunan dan level kinerja dapat ditentukan. Mekanisme terbentuknya sendi plastis serta besarnya energi gempa yang terserap juga dapat dihitung dari hasil analisis ini.

2. METODE

Penelitian ini merupakan studi analisis berbasis numerik mengenai perencanaan gedung SRPMK yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta khususnya di daerah Patuk, Gunung Kidul, DIY. Data yang digunakan meliputi data gempa dari aplikasi Respons Spektrum Indonesia 2021 untuk klasifikasi tanah sedang (SD). Pengecekan denah struktur terhadap syarat SRPMK didesain sesuai SNI 7860 : 2020. Analisis pembebatan, kontrol stabilitas struktur, *demand capacity ratio* dan pengecekan persyaratan SCWB menggunakan *software* SAP 2000 V.22 sesuai AISC 360-16 dengan mempertimbangkan seluruh persyaratan seismik. Desain sambungan balok kolom struktur baja SRPMK berdasarkan SNI 7972 : 2020. Analisis *Pushover* menggunakan *software* SAP 2000 V.22 berdasarkan ATC 40 dan FEMA 356 untuk menentukan level kinerja struktur. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 2.

Profil kompak dan Non Kompak

Penentuan parameter profil penahan lentur sesuai SNI 1729:2019 diklasifikasi berdasarkan elemen kompak, non kompak dan langsing disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Daktilitas Profil

Untuk komponen struktur daktail tinggi, rasio lebar terhadap tebal elemen tekan tidak boleh melampaui batasan rasio lebar terhadap tebal berdasarkan SNI 7860:2020. Persyaratan daktilitas sayap dan badan profil ditentukan berdasarkan modulus elastis baja (E) sebesar 200000 MPa, tegangan leleh minimum terekspektasi (f_y) dalam satuan MPa dan rasio kekuatan leleh terekspektasi terhadap kekuatan leleh minimum terspesifikasi (R_y). Persyaratan daktilitas sayap profil disajikan pada Tabel 2, sedangkan persyaratan daktilitas badan profil disajikan pada Tabel 3.

Tabel 1. Persyaratan kekompakan profil

Batas rasio lebar terhadap tebal (b/t) λ_p (Kompak /non kompak)	Batas rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) λ_r (Non kompak /langsing)
$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Tabel 2. Syarat daktilitas sayap profil

Rasio lebar terhadap tebal	Batasan rasio lebar terhadap tebal	
	λ_{hd} Komponen struktur daktail tinggi	λ_{md} Komponen struktur daktail menengah
b/t	$0,32 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}}$	$0,40 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}}$

Tabel 3. Syarat daktilitas badan profil

Rasio tinggi terhadap tebal badan	Batasan rasio lebar terhadap tebal	
	λ_{hd} Komponen struktur daktail tinggi	λ_{md} Komponen struktur daktail menengah
h/t_w	$1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}}$	$1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}}$

Struktur Daktail Tinggi

Pertambatan lateral harus ditempatkan berdekatan dengan lokasi sendi plastis terekspektasi. Perkakuan diberikan pada kedua sayap balok atau penampang melintang komponen struktur harus diperkuat dengan perkakuan terasional titik (SNI 7860, 2020). Jarak pertambatan lateral (L_b) dihitung berdasarkan persamaan 1.

$$L_b = 0,095 \frac{r_y E}{R_y f_y} \quad (1)$$

dengan L_b = panjang maksimum bagian balok yang tidak perkaku (mm), R_y = rasio kekuatan leleh terekspektasi terhadap kekuatan leleh minimum terspesifikasi, F_y = kekuatan leleh minimum terspesifikasi (MPa), dan r_y = radius girasi komponen individual terhadap sumbu lemah (mm).

Beban Gempa

Beban gempa pada struktur dihitung berdasarkan SNI 1726:2019. Untuk desain beban gempa pada struktur, getaran batuan dasar dirambatkan ke fondasi struktur. S_{MS} dan S_{M1} adalah parameter respons spektrum pada periode pendek 0,2 detik dan parameter percepatan gempa pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan klasifikasi situs (SNI 1726, 2019). S_{MS} dan S_{M1} dihitung sesuai persamaan 2 dan 3.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3)$$

Parameter S_{MS} dan S_{M1} kemudian direduksi kembali untuk mendapatkan percepatan gempa desain sesuai persamaan 4 dan 5.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \quad (4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \quad (5)$$

S_{DS} dan S_{D1} adalah parameter spektrum respons yang akan digunakan untuk menghitung gaya geser pada dasar struktur fondasi. Gaya geser dasar pada struktur fondasi bangunan dihitung sesuai persamaan 6.

$$S_{MS} V = C_s \cdot W \quad (6)$$

dengan: C_s = koefisien respon seismic, dan W = berat seismik efektif (kN)

C_s dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 dan dipilih berdasarkan median atau nilai tengah dari persamaan (7), (8) atau (9) dan Persamaan (10).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (7)$$

Persamaan (7) tidak perlu melebihi Persamaan (8) dan (9).

Jika $T \leq TL$:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (8)$$

Jika $T \geq TL$:

$$C_s = \frac{S_{D1} TL}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (9)$$

Dan C_s harus tidak kurang dari persamaan 10.

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (10)$$

Gaya lateral (F_x) untuk tiap tingkat dihitung berdasarkan persamaan 11 dan 12.

$$F_x = C_{vx} V_s \quad (11)$$

$$C_{vx} = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{i=2}^n W_i h_i^k} \quad (12)$$

dengan F_x = gaya lateral gempa (kN), C_{vx} = faktor distribusi vertikal, W_i = bagian berat seismik efektif total struktur yang dikenakan atau ditempatkan pada tingkat ke i , h_i = tinggi dari lantai dasar sampai tingkat ke i , dan k = eksponen yang terkait periode struktur.

Periode mempengaruhi pemilihan nilai gaya geser dasar gempa pada struktur dasar fondasi. Periode adalah selang waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan menyelesaikan satu getaran penuh. Nilai periode alami struktur dihitung berdasarkan persamaan 13.

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad (13)$$

Periode pendekatan dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 yang dirumuskan dalam 14 dan 15.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (14)$$

Periode fundamental batas atas dirumuskan sebagai berikut.

$$T_a = C_t h_n^x C_u \quad (15)$$

dengan T = periode alami struktur (detik), T_a = periode pendekatan (detik), k = kekakuan struktur, m = massa struktur (kN), C_t = nilai parameter periode pendekatan, h_n = tinggi total gedung (m), x = nilai parameter periode pendekatan, dan C_u = koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.

Cara memilih periode struktur yang digunakan untuk menghitung gaya desain gempa adalah sebagai berikut.

Jika $T_c < C_u T_a$, digunakan $T = C_u T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u T_a$, digunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$, digunakan $T = T_a$

Simpangan Antar Lantai

Gaya lateral yang terjadi tiap tingkat akan membuat bangunan mengalami defleksi atau pergeseran join. Besarnya pergeseran join dari titik ke awal ke titik perpindahan dinamakan defleksi. Umumnya jika defleksi yang dihasilkan tidak terlalu besar tidak akan terlalu berpengaruh pada bangunan karena ketika gaya lateral tersebut telah hilang atau berhenti maka struktur cenderung akan kembali ke posisi semula. Tetapi ketika defleksi sangat besar karena kekakuan struktur yang kurang baik mengakibatkan keruntuhan pada struktur. Perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau simpangan mendatar tiap-tiap tingkat disebut *story drift* (SNI 1726, 2019). *Story drift* dihitung sesuai persamaan 16.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (16)$$

dengan: C_d = faktor pembesaran simpangan lateral, δ_{xe} = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan, yang ditentukan dengan analisis elastik pada SAP2000 v22, dan I_e = faktor keutamaan gempa.

SNI 1726:2019 memberi batasan *drift* ijin yang diperbolehkan pada struktur yang dirumuskan pada persamaan 17.

$$\delta_i = \frac{\Delta_a}{\rho} \quad (17)$$

dengan δ_i = batasan *drift* ijin (mm), Δ_a = simpangan antar tingkat ijin (mm), dan ρ = faktor redundansi.

Demand Capacity Ratio

Respon struktur akibat beban terfaktor (*demand*) dibandingkan dengan kapasitas (*capacity*) dari komponen-komponen struktur akan didapatkan P-M rasio yaitu rasio atau perbandingan *demand* terhadap *capacity*. Bila P-M Rasio < 1 maka struktur memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang bekerja padanya. *Demand capacity ratio* dihitung berdasarkan Persamaan 18 dan 19 sesuai SNI 1729:2020.

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (18)$$

Apabila $\frac{Pr}{Pc} < 0,2$

$$\frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mc} \right) \leq 1,0 \quad (19)$$

dengan Pr = kekuatan aksial perlu (N), Pc = kekuatan aksial tersedia (N), Mr = kekuatan lentur perlu (N-mm), Mc = kekuatan lentur tersedia (N-mm), x = indeks sehubungan dengan lentur sumbu mayor, dan y = indeks sehubungan dengan lentur sumbu minor.

Strong Column Weak Beam

SRPMK harus didesain dengan menerapkan *strong column weak beam*. Saat gempa terjadi, elemen struktur yang diizinkan untuk mengalami kerusakan terlebih dahulu adalah balok dan kolom tidak diizinkan mengalami kegagalan. Pengecekan SCWB didapat dengan cepat menggunakan program SAP2000 atau dihitung secara manual berdasarkan SNI 7860 : 2020 yang mensyaratkan struktur SRPMK memiliki rasio momen kolom dan balok yang terhubung dalam satu join dihitung sesuai persamaan 20.

$$\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} > 1,0 \quad (20)$$

dengan $\sum M_{pc}$ = jumlah dari proyeksi kekuatan lentur nominal kolom di atas dan di bawah join pada garis sumbu balok dengan gaya aksial tereduksi kolom (N-mm), dan $\sum M_{pb}$ = jumlah dari proyeksi kekuatan lentur terekspektasi dari balok pada lokasi sendi plastis pada sumbu kolom

Sambungan Terprakualifikasi

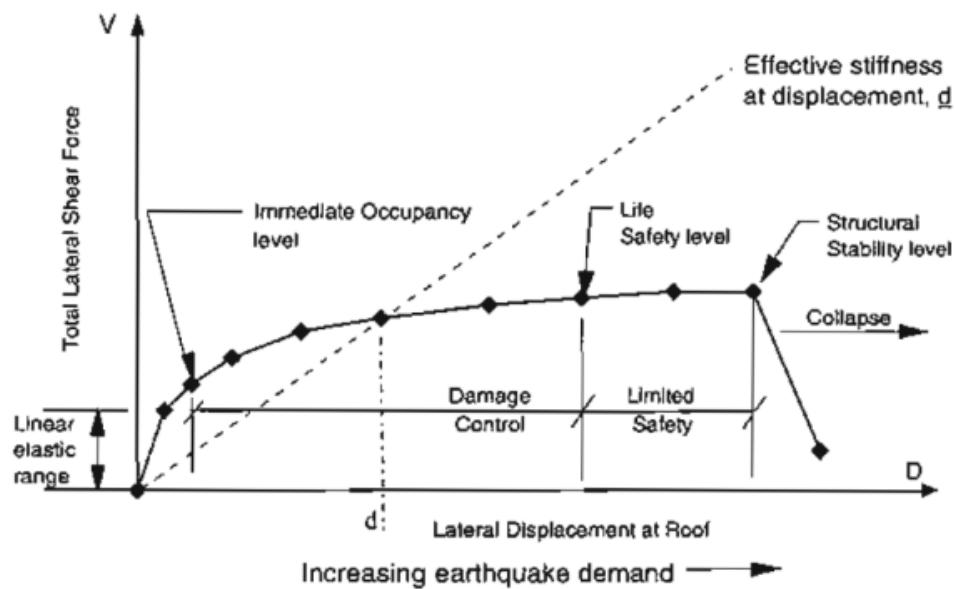
Sambungan berfungsi untuk menyalurkan beban struktur dari satu komponen ke komponen struktur lainnya agar gaya tersebut dapat diteruskan ke fondasi. SNI 7972:2020 membahas berbagai jenis sambungan untuk sistem rangka pemikul momen khusus baja. Prakualifikasi profil balok dan kolom yang digunakan pada struktur akan mempengaruhi jenis sambungan dan akhirnya menentukan momen maksimum yang mungkin terjadi pada sendi plastis (M_{pr}).

Analisa Pushover

Performance based design merupakan konsep perancangan struktur berbasis kinerja menggunakan analisis non linear dengan bantuan komputer yang dikembangkan untuk bangunan di daerah rawan gempa. Analisa *pushover* merupakan salah satu metode analisis statik non linier untuk mengetahui level kinerja bangunan yang ditinjau akibat beban gempa yang terjadi serta dapat mengetahui letak peleahan struktur. Analisa *pushover* menghasilkan kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara simpangan atap (*roof displacement*) dan gaya geser dasar (*base shear*). ATC 40 dan FEMA 356 digunakan untuk menentukan batasan-batasan *drift ratio* dan batasan-batasan tipe bangunan yang dievaluasi pada titik performanya. Titik performa berguna untuk mengetahui level kinerja struktur. Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* untuk berbagai level kinerja struktur disajikan pada Gambar 3. Parameter yang ditetapkan yaitu maksimum total *drift* dan maksimum inelastik *drift*. Batasan-batasan tipe bangunan dan *drift ratio* menurut ATC-40 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Batasan *drift ratio* sesuai ATC 40 (Wirakusuma et al., 2022)

Level Kinerja	Batas simpangan antar Tingkat (mm)			
	IO	DC	LS	SS
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 \frac{v_i}{P_i}$
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005 – 0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan



Gambar 3. Kurva Kapasitas Pada Berbagai Level Kinerja Struktur (California Seismik Safety Commission, 1996)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan struktur menggunakan material baja ASTM A36 dan ASTM A913M meliputi permodelan struktur, dimensi elemen struktur, cek kekompakan dan daktilitas profil balok dan kolom, *story drift, demand capacity ratio, strong column weak beam*, sambungan terprakualifikasi, level kinerja ATC 40 dan FEMA 356, pembentukan sendi plastis, penyerapan energi gempa dan daktilitas struktur.

Permodelan Struktur

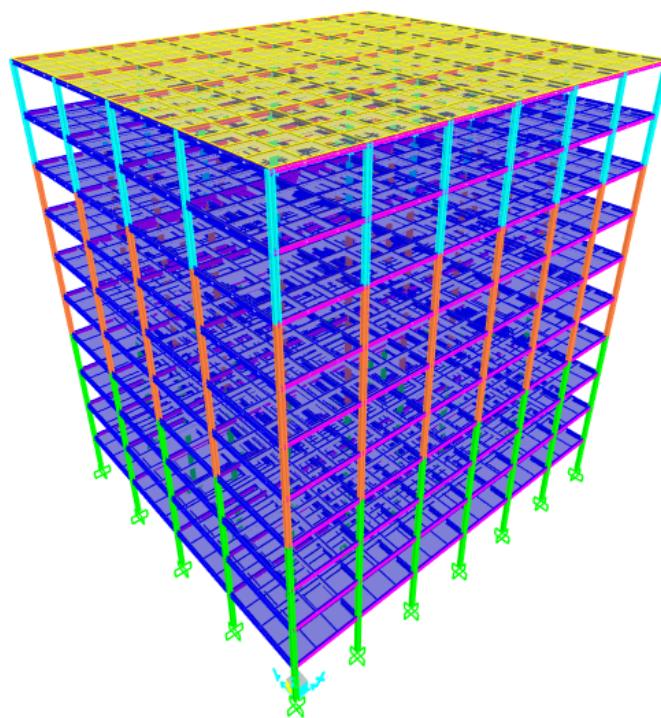
Struktur yang ditinjau pada penelitian ini adalah gedung 10 lantai yang berfungsi sebagai hotel dengan struktur utama menggunakan baja profil WF. Model 3D struktur gedung disajikan pada Gambar 4.

Data perencanaan struktur adalah sebagai berikut :

Jenis gedung	: Hotel
Lokasi gedung	: DIY
Sistem struktur	: SRPMK
Panjang gedung	: 32 m
Lebar gedung	: 32 m
Tinggi gedung	: 40 m
Bentang balok arah -x	: 6 m
Bentang balok arah-y	: 8 m
Jumlah lantai	: 10 lantai
Tinggi antar lantai	: 4 m
Tebal plat lantai beton	: 15 cm

Data material struktur

Berat jenis baja	: 7850 kg/m ³
Modulus elastis baja	: 200000 MPa
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Tegangan leleh baja (f_y), ASTM A36	: 250 MPa
ASTM A913M	: 345 MPa



Gambar 4. Model 3D struktur gedung

Dimensi elemen struktur

Dimensi balok

Balok menggunakan profil *hot rolled steel* dengan dimensi sebagai berikut:

Balok induk arah X : WF 200.200.10.16

Balok induk arah Y : WF 300.200.9.14

Balok anak arah (x-y) : WF 200.200.10.16

Dimensi kolom

Kolom menggunakan profil tersusun (*built-up member*) dengan dimensi sebagai berikut:

K1 : WF 300.300.60.60 (Lantai 1-3)

K2 : WF 300.300.45.45 (Lantai 4-7)

K3 : WF 300.300.30.30 (Lantai 8-10)

Kekompakan dan daktilitas profil balok dan kolom

Dimensi profil balok dan kolom direncanakan memenuhi syarat kekompakan dan daktilitas kemudian kapasitas bresing dan jarak antar bresing dihitung. Hasil klasifikasi profil disajikan pada Tabel 5 s/d Tabel 8 sedangkan hasil perhitungan L_b dan L_b terpasang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 5. Klasifikasi profil berdasarkan batasan elemen kompak untuk sayap dan badan balok

Kode	b/t	h/t _w	λ_{ps}	λ_{pb}	Klasifikasi profil
ASTM A36					
BIX	6,3	16,8	10,75	106,35	Kompak
BIY	7,1	30,2	10,75	106,35	Kompak
Bax-y	6,3	16,8	10,75	106,35	Kompak
ASTM A913M					
BIX	6,3	16,8	9,15	90,53	Kompak
BIY	7,1	30,2	9,15	90,53	Kompak
Bax-y	6,3	16,8	9,15	90,53	Kompak

Tabel 6. Klasifikasi profil berdasarkan daktilitas untuk sayap dan badan balok

Kode	b/t	h/t _w	λ_{hds}	λ_{hdb}	Klasifikasi profil
ASTM A36					
BIX	6,3	16,8	9,05	36,26	HD
BIY	7,1	30,2	9,05	36,26	HD
Bax-y	6,3	16,8	9,05	36,26	HD
ASTM A913M					
BIX	6,3	16,8	7,07	36,04	HD
BIY	7,1	30,2	7,07	36,04	HD
Bax-y	6,3	16,8	7,07	36,04	HD

Tabel 7. Klasifikasi profil berdasarkan batasan elemen kompak untuk sayap dan badan kolom

Kode	b/t	h/t _w	λ_{ps}	λ_{pb}	Klasifikasi profil
ASTM A36					
K1	2,5	3,0	10,75	106,35	Kompak
K2	3,3	4,7	10,75	106,35	Kompak
K3	5,0	8,0	10,75	106,35	Kompak
ASTM A913M					
K1	2,5	3,0	9,15	90,53	Kompak
K2	3,3	4,7	9,15	90,53	Kompak
K3	5,0	8,0	9,15	90,53	Kompak

Tabel 8. Klasifikasi profil berdasarkan daktilitas untuk sayap dan badan kolom

Kode	b/t	h/t _w	λ_{hds}	λ_{hdb}	Klasifikasi profil
ASTM A36					
K1	2,5	3,0	9,05	36,26	HD
K2	3,3	4,7	9,05	36,26	HD
K3	5,0	8,0	9,05	36,26	HD
ASTM A913M					
K1	2,5	3,0	7,07	36,04	HD
K2	3,3	4,7	7,07	36,04	HD
K3	5,0	8,0	7,07	36,04	HD

Tabel 9. Perhitungan spasi maksimum terbreis (L_b) pada balok dan kolom

Kode	ASTM A36		ASTM A913M	
	L_b hitung (m)	L_b pakai (m)	L_b hitung (m)	L_b pakai (m)
BIX	2,59	2	2,57	2
BIY	2,42	2	2,38	2
Bax-y	2,59	2	2,57	2
K1	3,87	4	3,82	4
K2	3,78	4	3,74	4
K3	3,71	4	3,67	4

Tabel 5 s/d Tabel 8 menunjukkan keseluruhan profil balok dan kolom yang digunakan adalah penampang kompak dengan daktilitas tinggi. Tabel 9 menunjukkan jarak L_b sesuai profil yang digunakan dan L_b terpasang pada model struktur. Hasil ini memastikan bahwa perilaku keruntuhan struktur akan terjadi dengan mekanisme terbentuknya sendi-sendi plastis saat momen plastis terlampaui tanpa kemungkinan terjadi tekuk lokal penampang maupun tekuk global sehingga tepat digunakan untuk SRPMK. Penampang akan mengalami deformasi inelastik untuk menghasilkan penyerapan energi yang besar. Batasan klasifikasi penampang kompak, daktilitas dan jarak L_b untuk material ASTM A36 lebih tinggi dibanding ASTM A913M. Hal ini dipengaruhi oleh tegangan leleh ASTM A36 lebih kecil namun rasio antara tegangan leleh sebenarnya dengan tegangan leleh nominal (R_y) lebih besar sehingga lebih banyak profil ASTM A36 yang memenuhi syarat daktail tinggi daripada ASTM A913M.

Story Drift

Beban gempa yang digunakan dalam analisis *story drift* adalah beban gempa statik ekivalen dan beban gempa ragam respon spektrum. Faktor redundansi (ρ) yang digunakan untuk struktur gedung 10 lantai adalah 1,0. Hasil perhitungan *story drift* gedung 10 lantai disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Interstory drift terbesar untuk beban gempa statik ekivalen dan respons spektrum ASTM A36 dan ASTM A913M arah X terjadi pada lantai 3 sedangkan untuk arah Y pada lantai 2. *Interstory drift* tidak melebihi batas *drift ijin* yaitu 2% dari tinggi total struktur untuk pembebanan gempa respons spektrum, sedangkan untuk statik ekivalen melampaui *drift ijin* pada arah X. Struktur lebih dominan bergerak ke arah X dengan jumlah portal yang lebih banyak dan bentang yang lebih kecil.

Demand Capacity Ratio (D/C)

Balok dan kolom yang telah memenuhi persyaratan daktilitas, kemudian dihitung kapasitasnya dalam menahan gaya aksial (P_n) serta momen pada arah sumbu lemah (M_{2-2}) dan sumbu kuat (M_{3-3}). *Demand capacity ratio* untuk menahan kombinasi aksial dan lentur sesuai persamaan 18 atau 19 untuk balok disajikan pada Tabel 10 sedangkan untuk kolom disajikan pada Tabel 11.

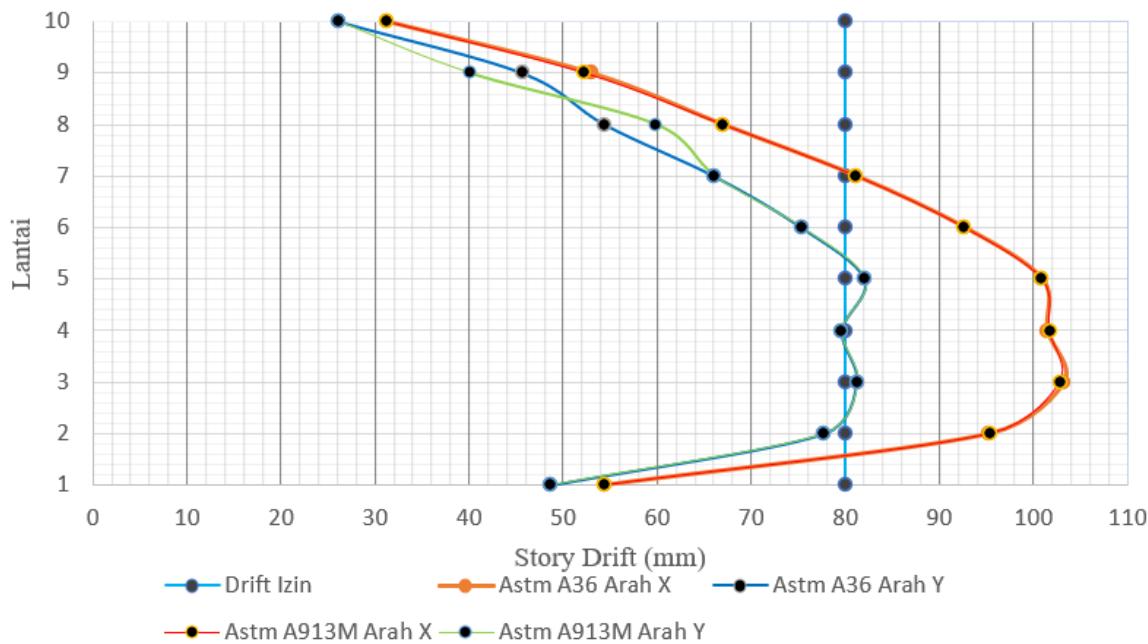
Tabel 10 dan 11 menunjukkan bahwa keseluruhan profil balok memenuhi *D/C ratio* dengan hasil yang sangat ekonomis. Balok ASTM A36 bekerja maksimum mencapai 99% dari kapasitasnya. Terdapat selisih sekitar 20% antara kapasitas balok ASTM A36 dan ASTM A913M. Penggunaan ASTM A913M memberikan tingkat keamanan yang lebih tinggi dari segi kekuatan karena tegangan leleh baja yang lebih tinggi. Profil kolom menggunakan profil tersusun yang memenuhi syarat daktail tinggi memberikan hasil lebih optimal jika dibandingkan dengan profil yang tersedia di pasaran. Kapasitas kolom menggunakan material ASTM A36 dan ASTM A913M menghasilkan *D/C ratio* dengan selisih sekitar 14%. Pemilihan mutu baja yang tepat dapat menghemat biaya struktur secara keseluruhan.

Tabel 10. Hasil perhitungan kapasitas balok

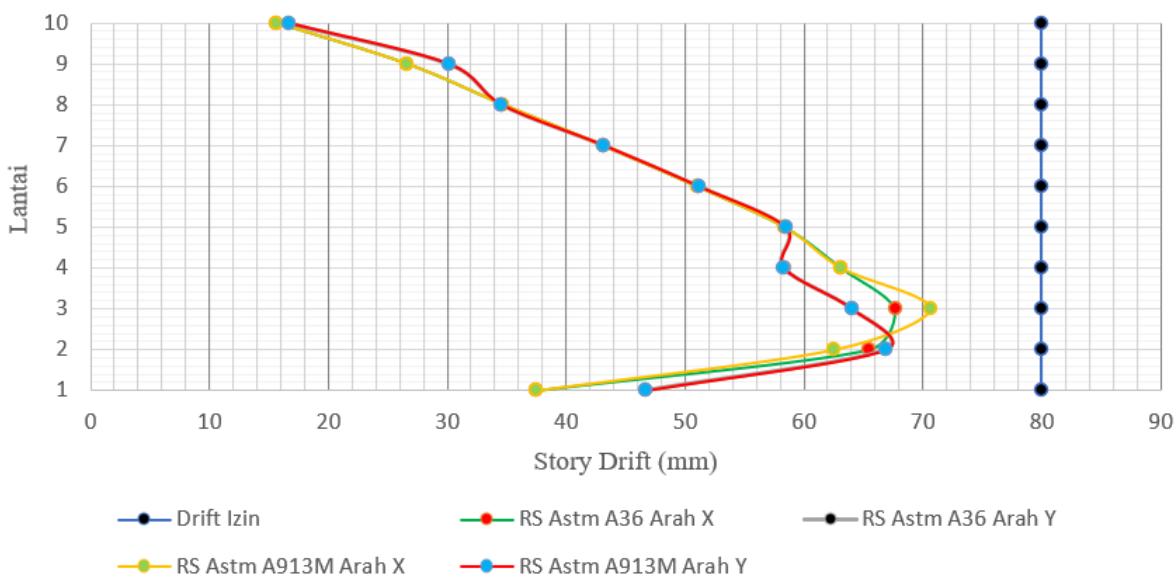
Kode	P_n (KN)	M_{2-2} (KNm)	M_{3-3} (KNm)	D/C ratio
ASTM A36				
BI-X	505,46	0,083	105,84	98,8%
BI-Y	509,15	0,472	157,49	99%
BAx-y	112,58	0,596	22,74	19,5%
ASTM A913M				
BI-X	525,7	0,094	112,81	78%
BI-Y	545,01	0,529	164,43	77%
BAx-y	204,44	0,036	15,09	11%

Tabel 11. Hasil perhitungan kapasitas kolom

Kode	P_n (KN)	M_{2-2} (KNm)	M_{3-3} (KNm)	D/C ratio
ASTM A36				
K1	4545,11	180,85	10	75%
K2	2641,61	142,86	1,99	63,4%
K3	821	68,16	0,983	39,3%
ASTM A913M				
K1	5170,68	181,34	11,198	61,65%
K2	3044	143,30	2,22	51,5%
K3	1002,21	67,86	0,931	32%



Gambar 5. Story drift statik ekuivalen ASTM A36 dan ASTM A913M untuk arah X dan Y



Gambar 6. Story drift respons spektrum ASTM A36 dan ASTM A913M untuk arah X dan Y

Sambungan terprakualifikasi

Sambungan yang digunakan menggunakan tipe sambungan Pelat Sayap Berbaut (PSB) baik untuk ASTM A36 dan ASTM A913M, sambungan ini dipilih karena memiliki kemudahan pemasangan pada lokasi konstruksi serta dimensi kolom dan balok memenuhi batas prakualifikasi pada sistem sambungan PSB. Hasil perhitungan sambungan dengan menggunakan mutu baja ASTM A36 dan ASTM A913M disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi perhitungan sambungan terprakualifikasi PSB

Keterangan	Sambungan BIX dan BIY ke K1, K2 dan K3				Satuan	
	ASTM A36		ASTM A913M			
	BIX	BIY	BIX	BIY		
Diameter baut maksimum	24	24	22	22	mm	
Asumsi tebal pelat sayap	26	26	20	20	mm	
Jumlah baut	8	8	10	10	bahar	
Lokasi sendi plastis balok	400	500	450	550	mm	

Penggunaan mutu baja ASTM A36 dan ASTM A913M menghasilkan kebutuhan baut yang berbeda. Hasil ini dipengaruhi oleh tebal pelat rencana yang disesuaikan dengan diameter baut. Lokasi zona terlindung tempat terjadinya sendi plastis untuk sambungan PSB pada ASTM A36 lebih pendek dari pada ASTM A913M arah X dan arah Y karena dipengaruhi oleh jumlah baut dan ukuran profil balok.

Strong column weak beam (SCWB)

Sistem struktur SRPMK menerapkan prinsip *Strong Column Weak Beam (SCWB)*. Hasil perhitungan SCWB sesuai persamaan (20) dipengaruhi oleh M_{pr} yang adalah momen maksimum yang mungkin terjadi pada lokasi sendi plastis. Nilai M_{pr} tergantung pada sistem sambungan yang dipilih. Pemeriksaan SCWB dari software SAP2000 disajikan pada Tabel 13. *B/C ratio* dan *C/B ratio* menjadi faktor penentu akhir dari nilai ekonomis suatu kolom yang memenuhi syarat SRPMK.

Tabel 13 menunjukkan bahwa semua sambungan kolom memenuhi persyaratan SCWB baik dengan mutu baja ASTM A36 dan ASTM A913M. Hasil ini menunjukkan bahwa ASTM A913M memberikan hasil SCWB yang sedikit lebih besar daripada ASTM A36.

Tabel 13. Hasil pengecekan SCWB

Kode	B/C ratio	C/B ratio
ASTM A36		
K1	0,68	1,47
K2	0,81	1,23
K3	0,97	1,03
ASTM A913M		
K1	0,64	1,5
K2	0,79	1,26
K3	0,964	1,04

Performance Point ATC-40

Performance point digunakan untuk menentukan Level Kinerja (LK) struktur. Level kinerja dipengaruhi oleh sendi plastis yang mungkin terjadi. Seluruh sendi plastis yang mungkin terjadi pada balok didefinisikan pada ujung-ujung balok dengan lokasi sesuai Tabel 12 (*beam sway mechanism*). Lokasi sendi plastis di kolom dianalisis dengan 2 kriteria yaitu sendi plastis mungkin terjadi di ujung atas dan bawah kolom pada keseluruhan lantai bangunan (SP₁) dan sendi plastis hanya terjadi di ujung bawah kolom lantai dasar (SP₂). Hasil analisa pushover untuk ASTM A36 didapat gaya geser maksimum 1057,16 KN (arah X) dan 986,155 KN (arah Y) untuk SP₁, sedangkan untuk SP₂ maka gaya geser maksimum diperoleh sebesar 1138,683 KN (arah X) dan 1141,707 KN (arah Y). Untuk mutu baja ASTM A913M didapat gaya geser maksimum 5930,295 KN (arah X) dan 5535,138 KN (arah Y) untuk SP₁ dan 1088,016 KN (arah X) dan 1090,499 KN (arah Y) untuk SP₂. Hasil ini bertujuan untuk melihat level kinerja struktur jika diberi gaya geser dasar. Level kinerja struktur untuk disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Level kinerja struktur ATC-40

Mutu baja	Arah	SP ₁	SP ₂	LK
<i>Max drift (mm)</i>				
ASTM A36	X	0,000001175	0,00151345	IO
	Y	0,001771	0,0017717	IO
<i>Max inelastic drift (mm)</i>				
ASTM A36	X	0,000000075	0,00098655	IO
	Y	0,00072955	0,000959175	IO
ASTM A913M	X	0,00000032	0,0009204	IO
	Y	0,00743655	0,000894325	IO

Penentuan level kinerja menggunakan ATC-40 didapat bahwa struktur berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* yang menunjukkan bahwa tidak akan terjadi kerusakan structural pasca gempa yang melampaui gempa

desain. Perencanaan gedung hotel untuk kategori resiko II dengan target level kinerja maksimum adalah *life safety* telah terpenuhi.

Performance point FEMA 356

Analisa *pushover* berdasarkan FEMA 356 untuk mutu baja ASTM A36 tidak diperoleh hasil gaya geser maksimum/N.A (arah X) dan 924122,2 KN (arah Y) untuk SP₁ serta N.A (arah X) dan 1039103,4 KN (arah Y) untuk SP₂. Hasil untuk ASTM A913M adalah N.A (arah X) dan 924122,2 KN arah Y untuk SP₁ dan 9995444,6 KN (arah X) dan 1000467,1 KN (arah Y) untuk SP₂. Level kinerja struktur untuk disajikan pada Tabel 15. Level kinerja berdasarkan FEMA 356 diperoleh hasil berdasarkan *maximum drift* berada pada level IO sedangkan kinerja berdasarkan *maximum inelastic drift* berada pada level *life safety*. Setelah gempa, struktur akan mengalami kerusakan pada daerah-daerah yang direncanakan berpotensi terbentuk sendi plastis, namun secara keseluruhan struktur masih tetap stabil dan bisa diperbaiki kembali. ASTM A36 dan ASTM A913M memberikan hasil level kinerja yang sama.

Tabel 15. Level kinerja struktur FEMA 356

Mutu baja	Arah	SP ₁	SP ₂	LK
<i>Max drift (mm)</i>				
ASTM A36	X	N.A	0,001380	N.A
	Y	0,0016599	0,001403	IO
ASTM A913M	X	N.A	0,0014509	IO
	Y	0,0016599	0,0014739	IO
<i>Max inelastic drift (mm)</i>				
ASTM A36	X	N.A	2,4986	NA
	Y	2,5	2,4998	LS
ASTM A913M	X	N.A	2,499	LS
	Y	0,00166	2,5	LS

Sendi Plastis

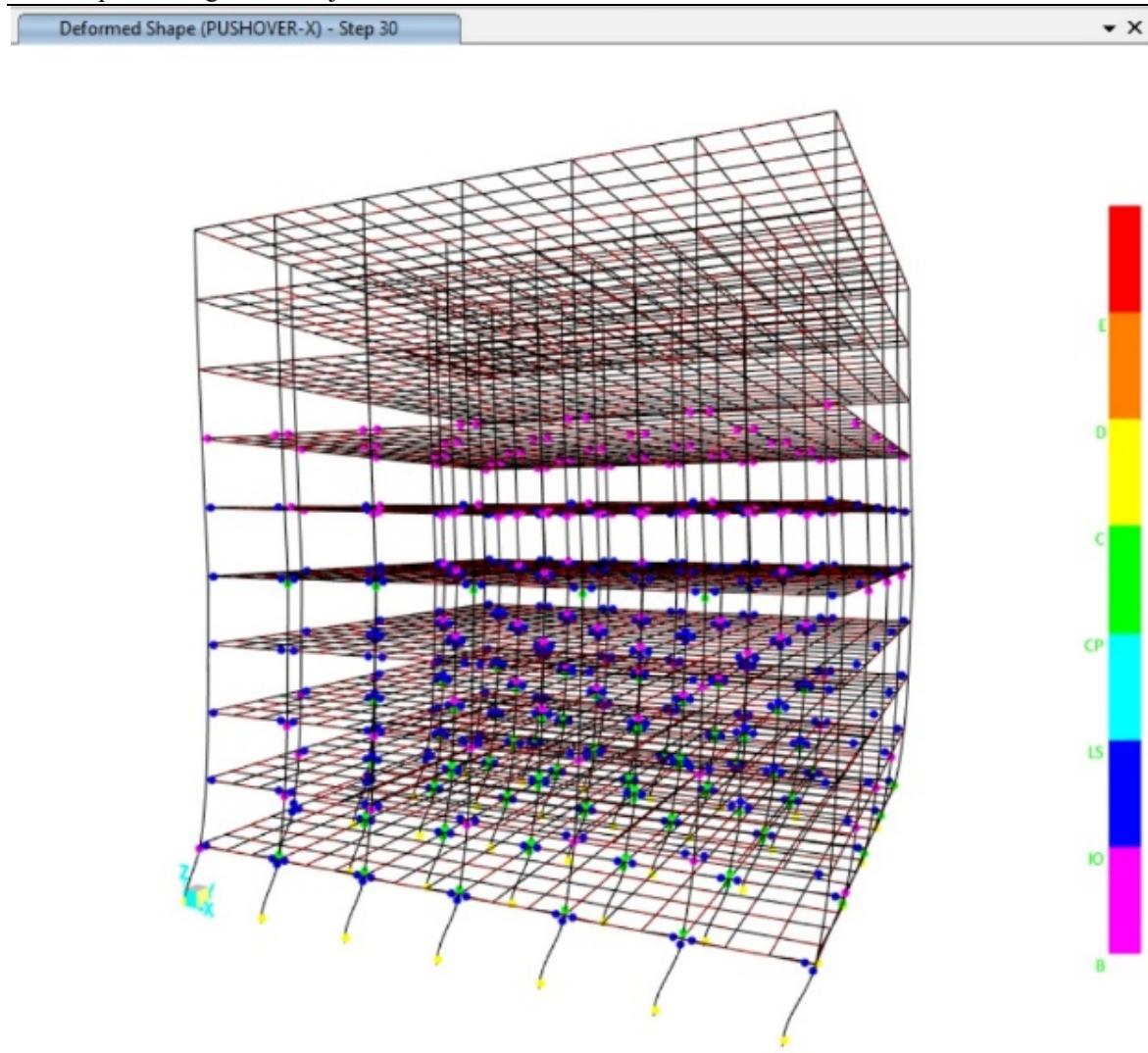
Sendi plastis akan terjadi saat struktur yang semula kaku menjadi lentur akibat material penyusunnya mengalami plastifikasi yaitu saat momen plastis terlampaui. Tegangan pada penampang tidak bertambah namun regangan terus bertambah. Terjadi rotasi inelastik pada sendi plastis berakibat pada peningkatan lendutan balok dan simpangan antar lantai pada portal. Rekapitulasi jumlah sendi plastis pada *step* awal dan *step* akhir ASTM A36 dan ASTM A913M untuk SP₁ dan SP₂ hasil output SAP 2000 disajikan pada Tabel 16 dan 17. Skema terbentuknya sendi plastis disajikan pada Gambar 7.

Tabel 16. Rekapitulasi hasil sendi plastis yang terjadi pada step awal dan akhir ASTM A36

Keterangan	ASTM A36			
	SP ₁	SP ₂	X	Y
Total <i>step</i>	30	11	10	10
Jumlah SP pada step awal	3	10	3	15
Jumlah SP pada step akhir	674	52	349	183
Total SP yang terjadi	677	62	352	198
Total SP yang didefinisikan	1895		1195	

Tabel 17. Rekapitulasi hasil sendi plastis yang terjadi pada step awal dan akhir ASTM A913M

Keterangan	ASTM A913M			
	SP ₁	SP ₂	X	Y
Total <i>step</i>	15	11	12	11
Jumlah SP pada step awal	3	10	3	7
Jumlah SP pada step akhir	534	52	263	135
Total SP yang terjadi	537	62	266	142
Total SP yang didefinisikan	1895		1195	



Gambar 7. Skema terbentuknya sendi plastis

ASTM A36 menghasilkan jumlah sendi plastis yang lebih banyak pada struktur dari pada ASTM A913M. Semakin banyak sendi plastis yang terbentuk maka penyerapan energi gempa akan semakin besar dan tersebar pada banyak titik pada struktur. Lendutan dan rotasi plastis akan terus bertambah sebelum mencapai beban puncak yang mengakibatkan stabilitas struktur mengalami kegagalan. Permodelan SP₁ menghasilkan total jumlah sendi plastis yang terjadi lebih banyak dari pada SP₂, karena ujung-ujung kolom yang tersebar di seluruh lantai juga berpotensi mengalami sendi plastis. SP₂ hanya mengijinkan sendi plastis di kolom lantai dasar dan sangat ditentukan berdasarkan mekanisme pelimpahan energi gempa dari portal ke pedestal melalui plat dasar kolom dan angkur baja ke beton. Oleh karena itu pendetailan yang tepat pada lokasi ini perlu direncanakan dengan baik untuk mencegah bangunan terguling akibat sendi plastis yang terbentuk saat gempa besar terjadi. Penggunaan ASTM A36 menghasilkan struktur keseluruhan yang lebih daktail daripada ASTM A913M.

Penyerapan energi gempa

Total energi gempa yang diserap setiap lantai dari bangunan ditentukan dari banyaknya sendi plastis yang terjadi. Hasil penyerapan energi setiap lantai disajikan pada Tabel 18 dan 19.

Sendi plastis yang terjadi tersebar dari lantai dasar sampai ke lantai 7. Untuk ASTM A36, total penyerapan energi terbesar terjadi pada lantai dasar untuk mekanisme SP₁ dan SP₂. Sementara untuk ASTM A913M mekanisme pembentukan sendi plastis dan penyerapan energi terpusat pada lantai dasar untuk SP₁ dan tersebar pada lantai 2 dan 3 untuk mekanisme SP₂. Hasil ini sesuai dengan simpangan antar lantai maksimum yaitu terjadi pada lantai 2 dan 3.

Tabel 18. Penyerapan energi gempa ASTM A36

Lantai	Energi yang diserap (KN-m)			SP ₂
	X	Y	X	
10	0	0	0	0
9	0	0	0	0
8	0	0	0	0
7	78,94	0	0	0
6	359,52	0	1,097	0
5	2033,18	0	41,509	5,195
4	2645,394	0	102,43	36,579
3	3873,254	3,745	155,94	92,852
2	5556,85	16,996	194,45	156,95
1	14857,798	157,373	865,404	1107,33

Tabel 19. Penyerapan energi gempa ASTM A913M

Lantai	Energi yang diserap (KN-m)			SP ₂
	X	Y	X	
10	0	0	0	0
9	0	0	0	0
8	0	0	0	0
7	21,06	0	0	0
6	169,334	0	0	0
5	347,839	0	225,09	0
4	511,40	0	5175,3	606,57
3	1006,76	3,735	13291,31	3141,21
2	1645,813	16,996	17572,52	9515,09
1	5204,49	157,373	11667,2	80786

Daktilitas Struktur

Daktilitas dihitung sebagai ratio antara perpindahan maksimum (Δ_{maks}) dan perpindahan saat leleh (Δ_{yield}). Hasil perhitungan daktilitas ASTM A36 dan ASTM A913M disajikan pada Tabel 20 dan Tabel 21. Daktilitas struktur saat *perfomance point* memberikan hasil ASTM A913M lebih daktail, namun jika diperhitungkan sampai dengan titik leleh maksimum maka ASTM A36 memiliki daktilitas yang lebih besar.

Tabel 20. Daktilitas struktur arah X dan arah Y saat *performance point*

Arah	Sendi plastis	Δ_{maks} (mm)	Δ_{yield} (mm)	μ
ASTM A36				
X	SP ₁	0.047	0.044	1.075
	SP ₂	60.538	468.41	0.129
Y	SP ₁	70.868	813.22	0.087
	SP ₂	61.683	497.91	0.124
ASTM A913M				
X	SP ₁	0.058	0.07	0.819
	SP ₂	63.174	612.70	0.103
Y	SP ₁	397.512	813.22	0.489
	SP ₂	64.277	646.01	0.489

Tabel 21. Daktilitas struktur arah X dan arah Y titik leleh maksimum

Arah	Sendi Plastis	Δ_{maks} (mm)	Δ_{yield} (mm)	μ
ASTM A36				
X	SP ₁	6,726	0,0443	151,46
	SP ₂	1000,01	468,410	2,134
Y	SP ₁	1000,047	813,226	1,223
	SP ₂	1000,046	497,909	2,00
ASTM A913M				
X	SP ₁	0,348631	0,070	4,922
	SP ₂	999,9999	612,701	1,632
Y	SP ₁	1000,0477	813,226	1,229
	SP ₂	1000,046	646,014	1,229

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Keseluruhan profil balok dan kolom memenuhi persyaratan sebagai profil kompak dengan tingkat daktilitas tinggi. Jarak Lb pada denah bangunan juga terpasang sesuai Lb maks yang diijinkan. Hal ini memastikan elemen-elemen struktur akan mengalami plastifikasi saat terjadi gempa.
2. Keseluruhan profil balok dan kolom menghasilkan D/C ratio dan C/B ratio yang memadai dan ekonomis. ASTM A913M memberikan hasil kekuatan yang lebih besar dengan D/C ratio yang lebih kecil serta C/B ratio yang lebih besar.
3. Sambungan menggunakan model plat sayap berbaut (PSB) menghasilkan panjang sendi plastis yang berbeda antara ASTM A36 dan ASTM A913M. Lokasi sendi plastis ASTM A913M lebih panjang karena dipengaruhi oleh tebal plat, jumlah baut dan diameter baut.
4. ASTM A36 dan ASTM A913M memberikan hasil level kinerja yang sama yaitu IO berdasarkan ATC 40 dan LS berdasarkan FEMA 356. Level kinerja target untuk perancangan hotel dengan kategori resiko II tercapai.
5. Material ASTM A36 menghasilkan struktur yang lebih duktial secara keseluruhan ditunjukkan dengan jumlah sendi plastis yang lebih banyak, serapan energi gempa yang lebih besar dan daktilitas yang lebih besar.
6. Permodelan sendi plastis di ujung-ujung kolom dan tersebar di seluruh lantai (SP₁) dan permodelan sendi plastis hanya terjadi di kolom lantai dasar (SP₂) memberikan hasil tingkat daktilitas sangat berbeda. SP₁ memberikan daktilitas yang lebih tinggi, namun pendetailan di setiap ujung kolom harus dilaksanakan dengan tepat dan berdampak pada biaya konstruksi yang lebih besar. Permodelan dengan SP₂ lebih ekonomis namun perlu dipastikan pendetailan di kolom lantai dasar agar tidak terjadi kegagalan premature di dasar kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN 1726. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. 1(1), 1–248.
- BSN 1729. (2020). Penetapan Standar Nasional Indonesia 1729 : 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur. *Badan Standarisasi Nasional 1729:2020*, 8, 1–336.
- BSN 7860. (2020). *Ketentuan siesmik untuk bangunan gedung baja struktural*. 8, 1–336.
- Dewobroto, W. (2018). *Prospek dan Permasalahan Bangunan Baja Tahan Gempa*. <https://earthquake.usgs.gov>
- Kiemberly Siajaya Reky S. Windah, B.D.H. (2018) ‘Respons Struktur Gedung Bertingkat Dengan Variasi Kekakuan Kolom Akibat Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012’, *Jurnal Sipil Statik*, 6(6), pp. 411–422.
- Morib, M. A., Telaumbanua, H. Y., & Gulo, F. (2024). Pengaruh Peningkatan Percepatan Gempa Periode Pendek (SS) Terhadap Struktur Bertingkat di Daerah Istimewa Yogyakarta. *JURNAL TEKNIK SIPIL UKRIM*, 1(1), 9–18. <https://doi.org/10.61179/jtsukrim.v1i1.519>
- Morib, M. A., Wikana, I., Salimu, S., & Zalukhu, B. Z. (2024). Klasifikasi Level Daktilitas Baja Profil Berdasarkan SNI 7860:2020 Studi Kasus Bangunan 10 Lantai di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil XIII*, 1–8. <https://earth.google.com>
- Wirakusuma, I., Prasetya, M. A., & Sarya, G. (2022). Kinerja Struktur Gedung Perkuliahian 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan Atc-40. *Extrapolasi*, 19(01), 35–45. <https://doi.org/10.30996/ep.v19i01.6705>
- Zachari, M. Y., & Turuallo, G. (2020). Analisis Struktur Baja Tahan Gempa dengan Sistem SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) Berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012. *REKONSTRUKSI*

