

EDFS Matrix

Manual & Technical Reference

Panduan pemakaian dan referensi teknis analisis & desain struktur rangka 3D

Versi aplikasi	1.0.0
Tanggal dokumen	19 Oktober 2026
Standar	SNI 1729:2020 · SNI 2847:2019 · SNI 1727:2020 · SNI 1726:2019
Penerbit	Edifisia

Daftar Isi

Pendahuluan	4
Tentang dokumen ini	4
Cara membaca rujukan silang	4
Rujukan standar	4
Tanggung jawab pemakai	4
Bagian A — Manual Pengguna	5
M1. Mengenal EDFs Matrix	6
M1.1 Apa yang bisa dikerjakan	6
M1.2 Akun dan akses	6
M1.3 Jendela utama	7
M1.4 Alur kerja umum	7
M1.5 Satuan	8
M2. Menu File	9
M2.1 Project: New, Open, Save, Save As	9
M2.2 Exchange: Import dan Export	9
M2.3 Report	9
M2.4 Account: Sign In / Sign Out	10
M3. Menu Model	11
M3.1 History dan Select	11
M3.2 Draw	11
M3.3 Geometry: Node/Frame Tables	11
M3.4 Modify	11
M4. Menu View	13
M5. Menu Definition	14
M5.1 Geometry: Grid dan Groups	14
M5.2 Properties: Materials, Frame Sections, Shell Sections	14
M5.3 Joint: Constraints	14
M5.4 Loads: Load Cases, Load Combos, Combo Groups, Seismic	14
M5.5 Mass: Mass Source	15
M6. Menu Assign	16
M6.1 Joint	16
M6.2 Frame	16
M6.3 Area	16
M7. Menu Run	17
M7.1 Check Model	17
M7.2 Run... dan Run	17
M8. Menu Output	18
M8.1 Shape	18
M8.2 Member Forces	18
M8.3 Tables: Result Tables dan Material Take Off	18
M9. Menu Design	19
M9.1 Design Parameters	19
M9.2 Check Design	19
M9.3 Tampilan dan Detail	19
M10. Menu Help, navigasi dan panel	20

M10.1 Menu Help	20
M10.2 Pintasan dan mouse	20
M10.3 Panel Properties dan tabel	20
M11. Contoh: portal beton 3D	21
Bagian B — Referensi Teknis	22
R1. Model dan elemen	23
R1.1 Satuan	23
R1.2 Sistem sumbu	23
R1.3 Elemen frame 3D	23
R1.4 Properti penampang	23
R1.5 Property modifier	24
R1.6 Model analisis (diskretisasi)	24
R1.7 End release	24
R1.8 Joint constraint	24
R1.9 Tumpuan dan pegas tumpuan	25
R1.10 End offset dan insertion point	25
R2. Beban dan kombinasi	27
R2.1 Beban frame	27
R2.2 Beban per panjang proyeksi	27
R2.3 Berat sendiri	27
R2.4 Tipe load case	27
R2.5 Beban notional (SNI 1729 § C2.2b)	27
R2.6 Mass source	28
R2.7 Kombinasi beban	28
R2.8 Area penyalur beban	30
R2.9 Grup kombinasi dan envelope	30
R3. Beban gempa SNI 1726:2019	31
R3.1 Parameter dan spektrum desain	31
R3.2 Lateral load pada load case Quake	31
R3.3 Berat seismik dan distribusi gaya	31
R3.4 Respons spektrum	31
R3.5 Belum tersedia	31
R4. Analisis linear	32
R4.1 Analisis statik linear	32
R4.2 Gaya dalam dan konvensi tanda	32
R4.3 Analisis modal	32
R4.4 Pusat massa dan pusat kekakuan diafragma	33
R5. Analisis non-linear	34
R5.1 P-Delta (orde-2)	34
R5.2 Metode analisis langsung — SNI 1729:2020 Bab C	34
R5.3 Orde-2 untuk beton — SNI 2847:2019 § 6.7	35
R5.4 Tarik-saja / tekan-saja	35
R5.5 Opsi Run	35
R6. Desain baja SNI 1729:2020	36
R6.1 Alur	36
R6.2 Parameter dan panjang tak terkekang	36
R6.3 Kapasitas per profil	36
R6.4 Asumsi per profil	37
R6.5 Tidak dicek	37
R6.6 Efek orde-2 dan desain	37

R6.7 ASD	37
R7. Desain beton SNI 2847:2019	39
R7.1 Alur dan parameter	39
R7.2 Balok	39
R7.3 Kolom	39
R7.4 Tulangan terpasang dan gambar	40
R7.5 Desain kapasitas (SRPMM / SRPMK)	40
R7.6 Efek orde-2	40
R8. Ringkasan batasan, validasi dan verifikasi	41
R8.1 Asumsi dan batasan utama	41
R8.2 Validasi	41
R8.3 Verifikasi terhadap program analisis komersial	41

Pendahuluan

Tentang dokumen ini

Dokumen ini adalah panduan pemakaian dan referensi teknis **EDFS Matrix 1.0**, aplikasi analisis dan desain struktur rangka 3D berbasis web dari Edifisia. Isinya dibagi dua bagian yang saling merujuk:

Bagian	Isi	Untuk
A. Manual Pengguna (bab M1–M11)	Pengenalan layar, setiap menu dan perintah mulai dari menu File, cara navigasi, dan satu contoh lengkap	Semua pengguna, dibaca berurutan saat pertama kali memakai aplikasi
B. Referensi Teknis (bab R1–R8)	Dasar teori, metode solver, rumus desain, asumsi dan batasan	Engineer yang perlu tahu <i>bagaimana</i> angka dihitung dan <i>kapan</i> hasil boleh dipakai

Manual dan referensi teknis digabung dalam satu dokumen karena hampir setiap perintah di manual punya dasar teori yang perlu diketahui sebelum hasilnya dipakai; dengan satu dokumen, rujukan silang bisa diklik langsung.

Cara membaca rujukan silang

- Rujukan ke referensi teknis ditulis → **R1.7** (bab **R1**, subbab 7). Di PDF, rujukan itu dapat diklik.
- Rujukan ke manual ditulis → **M6.3**.
- Nama menu dan perintah ditulis tebal persis seperti di layar (bahasa Inggris), mis. **Assign → Frame → Releases**.
- Angka ditulis dengan koma desimal (0,35), sedangkan aplikasi memakai titik desimal (0.35).

Rujukan standar

Standar	Dipakai untuk
SNI 1729:2020 (setara AISC 360-16)	Desain baja LRFD/ASD, metode analisis langsung (Bab C), metode panjang efektif (Lampiran 7)
SNI 2847:2019 (setara ACI 318-14; beberapa pasal ACI 318-19)	Desain beton, kekakuan retak (§ 6.6.3.1.1), analisis orde-2 (§ 6.7)
SNI 1727:2020	Kombinasi beban kuat (ps. 2.3) dan layan (ps. 2.4)
SNI 1726:2019	Suku gempal kombinasi, spektrum desain, statik ekuivalen (§ 7.8), respons spektrum ragam (§ 7.9.1)
PIP STC01015 (April 2017) Tabel 4 & 5	Kombinasi beban struktur industri (gedung & open frame)
JIS G 3192 / G 3350 / G 3466 / G 3444	Database profil baja

Tanggung jawab pemakai

EDFS Matrix adalah alat bantu perhitungan. Kebenaran input, kesesuaian model dengan struktur sebenarnya, pemeriksaan hasil, dan keputusan desain tetap menjadi tanggung jawab tenaga ahli yang memakai dan mengesahkan hasilnya. Asumsi dan batasan program dirangkum di **bab R8** dan di aplikasi pada **Help → Legal → Batasan Teknis**. Bukti numerik (perbandingan dengan solusi tertutup dan dengan program analisis komersial) ada di laporan terpisah *Verifikasi Analisis EDFS Matrix* (→ **R8.3**).

Bagian A — Manual Pengguna

M1. Mengenal EDFS Matrix

M1.1 Apa yang bisa dikerjakan

EDFS Matrix memodelkan dan menganalisis **struktur rangka 3D** (balok, kolom, bresing, rangka batang) langsung di browser, lalu mendesain elemennya menurut SNI:

- **Analisis:** statik linear untuk semua load case dan kombinasi, analisis modal, P-Delta (orde-2), metode analisis langsung SNI 1729 Bab C, batang tarik-saja/tekan-saja, beban gempa SNI 1726 (statik ekuivalen dan respons spektrum).
- **Pemodelan:** frame 3D dengan release, end offset dan insertion point, property modifier, joint constraint (diafragma), tumpuan dan pegas tumpuan, area pelat/dinding sebagai penyalur beban ke balok.
- **Desain:** baja SNI 1729:2020 (LRFD/ASD, mode cek rasio D/C) dan beton SNI 2847:2019 (mode desain tulangan perlu, keluaran batang & sengkang, SRPMB/SRPMMD/SRPMK).
- **Keluaran:** diagram dan tabel hasil (ekspor .xlsx), Material Take Off, laporan PDF (ringkasan, gambar sketsa, laporan lengkap), pertukaran file .json, .s2k (tabel teks) dan .std (file input).

Batas yang sengaja tidak dibuat (elemen pelat ber-mesh, analisis non-linear material, dan lain-lain) dirangkum di [R8.1](#).

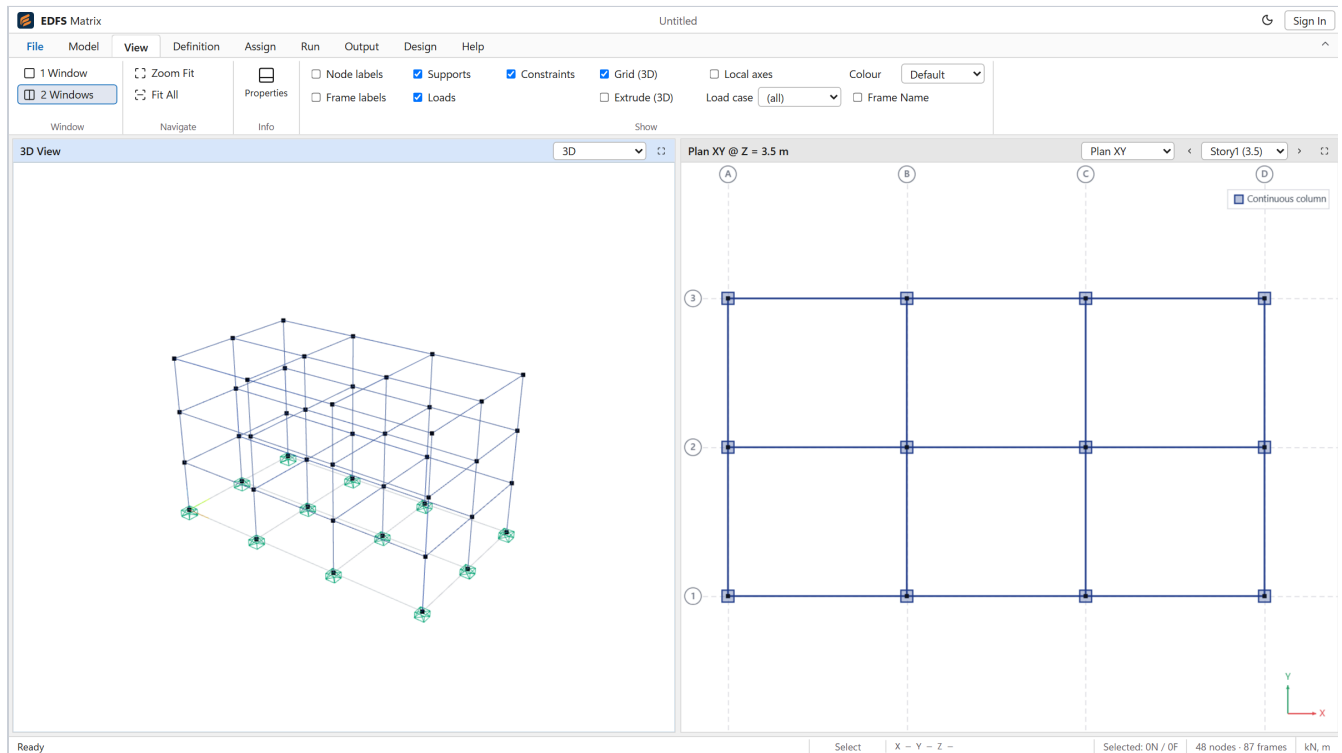
M1.2 Akun dan akses

Aplikasi dibuka di browser (Chrome atau Edge terbaru) dan bisa dipasang sebagai aplikasi (PWA) lewat ikon *Install* di bilah alamat. Pemodelan berjalan di browser; analisis dijalankan di server Edifisia.

Kemampuan	Tamu (belum masuk)	Akun tanpa Premium	Edifisia Premium (termasuk trial)
Memodelkan (draw, edit, assign, define), Import/Export file lokal	✓	✓	✓
Run analisis dan Check Model tahap server	X	X	✓
Save / Save As ke cloud	X	X	✓
Membuka (hanya-baca), mengekspor, menghapus project milik sendiri	—	✓	✓

Akun baru mendapat **trial Premium 7 hari**. Satu Edifisia Premium membuka semua aplikasi Edifisia. Model yang sedang dikerjakan selalu disimpan sebagai *draft* di browser, sehingga memuat ulang halaman tidak menghilangkan pekerjaan; hasil analisis tidak disimpan lokal.

M1.3 Jendela utama



Jendela utama EDFS Matrix: ribbon (atas), dua jendela tampilan (3D dan Plan), status bar (bawah).

Bagian	Fungsi
Title bar	Nama project, tombol tema terang/gelap, Sign In / status akun
Ribbon	Sembilan tab menu: File , Model , View , Definition , Assign , Run , Output , Design , Help . Klik ganda nama tab untuk menyembunyikan/menampilkan ribbon
Jendela tampilan	Satu atau dua jendela; jenis tampilan dipilih di header jendela: 3D , Plan XY , Elevation XZ , Elevation YZ . Di tampilan 2D, level/garis grid dipilih dengan dropdown dan tombol ◀ ▶
Panel bawah	Tab Properties (objek terpilih, bisa diedit), Nodes dan Frames (tabel geometri), serta tabel hasil analisis dan desain
Status bar	Pesan terakhir, perintah aktif, koordinat kursor, jumlah objek terpilih, jumlah node/frame, dan satuan model (klik untuk mengganti satuan)

M1.4 Alur kerja umum

1. **File** → **New**: satuan, grid cepat, template portal 3D atau grid saja ([M2.1](#)).
2. **Definition**: grid, material, penampang, load case, kombinasi, mass source, parameter gempa ([M5](#)).
3. **Model**: gambar atau ubah frame dan area ([M3](#)).
4. **Assign**: tumpuan, penampang, release, beban, constraint diafragma ([M6](#)).
5. **Run** → **Check Model**, lalu **Run** ([M7](#)). Analisis butuh Premium.
6. **Output**: bentuk deformasi, diagram gaya dalam, tabel hasil ([M8](#)).
7. **Design**: parameter desain lalu **Check Design**; lihat rasio, tulangan, dan **Detail** ([M9](#)).
8. **File** → **Report** untuk laporan PDF; **File** → **Save** menyimpan ke cloud ([M2](#)).

Mengubah model setelah Run akan menghapus hasil analisis (hasil selalu sesuai model yang tampil). Mengubah parameter desain, grup kombinasi atau tampilan tidak menghapus hasil.

M1.5 Satuan

Satuan dipilih saat **File** → **New** (panjang m atau mm; gaya N atau kN) dan bisa diganti kapan saja lewat **Help** → **Settings** → **Units** atau klik label satuan di status bar: semua nilai model dikonversi (bisa di-undo), hasil analisis dihapus. Mutu material (F_y , F_u , f_c' , f_y) selalu diisi dalam MPa. Dasar satuan solver → [R1.1](#).

M2. Menu File

File	Model	View	Definition	Assign	Run	Output	Design	Help
								
New	Open	Save	Save As	Import...	Export...	Report...	Sign In	
Project				Exchange		Report	Account	

Tab File.

M2.1 Project: New, Open, Save, Save As

- **New** (Ctrl+N) — dialog *New Model: Units* (panjang, gaya), **Quick grid** (jumlah garis × jarak untuk arah X, Y dan level Z) dan **Template**: *3D frame on the grid* (kolom S2, balok S1, tumpuan jepit di dasar) atau *Grid only* (gambar batang sendiri). Model yang belum disimpan akan diganti — dialog memberi peringatan.
- **Open** — daftar project milik akun di cloud dengan versinya; project bisa dibuka atau dihapus dari sini.
- **Save** (Ctrl+S) — menyimpan versi baru project ke cloud (Premium). Run pada project tersimpan dicatat bersama versinya. Project menyimpan sampai 20 versi terakhir.
- **Save As** — menyimpan sebagai project baru dengan nama lain.

M2.2 Exchange: Import dan Export

- **Import...** — membuka file dari komputer; format dikenali dari ekstensinya:
 - **.json** — format model EDFs Matrix (lengkap, termasuk parameter desain dan informasi laporan);
 - **.s2k / \$.2k** — tabel teks model analisis (format pertukaran yang lazim dipakai program analisis komersial);
 - **.std** — file input program analisis rangka. Koordinat hasil impor otomatis dibulatkan ke 0,1 mm. Profil baja dicocokkan ke katalog JIS bila dimensinya sama.
- **Export...** — pilih format yang sama. Setelah ekspor, dialog menampilkan apa saja yang tidak ikut terbawa ke format itu (mis. case gempa yang dibangkitkan otomatis, preferensi desain, pegas pada format **.std**), sehingga model di program penerima bisa dilengkapi. File **.s2k** hasil ekspor sudah berisi pengaturan agar program penerima mengulang asumsi EDFs Matrix (deformasi geser dimatikan, pembagian 6 segmen, berat sendiri sesuai load case).

Kesesuaian ekspor/impor **.s2k** telah diuji dua arah (→ **R8.3**).

M2.3 Report

Report... membuat laporan PDF. Dialog pertama meminta informasi proyek (nama proyek, lokasi, struktur, engineer, revisi — wajib; klien, perusahaan, pemeriksa, tanggal — opsional) yang disimpan di model. Lalu pilih jenis laporan dan bahasa (Indonesia/Inggris):

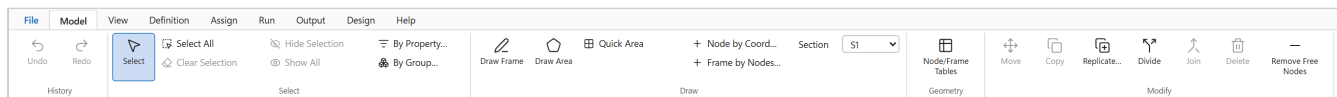
Jenis	Isi
Summary	Data proyek, model, gambar 3D, periode getar, reaksi total, perpindahan maksimum, ringkasan desain (1–2 halaman)
Sketch drawings	Tampak 3D, denah tiap level, elevasi tiap garis grid dengan penampang, dimensi dan title block (A3/A4)
Full report	Sampul, daftar isi, pendahuluan → model → material & penampang → pembebanan → hasil analisis → desain → kesimpulan; Lampiran A detail perhitungan setiap frame baja dan beton, Lampiran B gambar sketsa

Laporan tampil sebagai pratinjau lalu dicetak lewat **Print / Save as PDF** browser. Logo laporan dapat diganti (**Logo → Change...**) dan disimpan per browser. Laporan yang memuat hasil butuh Run terlebih dahulu.

M2.4 Account: Sign In / Sign Out

Masuk dengan akun Edifisia. Status Premium tampil di title bar. Run dan Save meminta masuk; bila Premium tidak aktif, muncul dialog *Premium Access* dengan tanggal berakhirnya.

M3. Menu Model



Tab Model.

M3.1 History dan Select

- **Undo** (Ctrl+Z) / **Redo** (Ctrl+Y) — semua perubahan model bisa dibatalkan.
- **Select** (Spasi) — mode pilih. Klik objek; **Shift/Ctrl + klik** menambah. Tarik kotak kiri→kanan (*window*: objek harus di dalam penuh) atau kanan→kiri (*crossing*: tersentuh cukup). Klik ganda node/frame membuka panel **Properties**.
- **Select All** (Ctrl+A), **Clear Selection** (Esc).
- **Hide Selection / Show All** — menyembunyikan objek terpilih dari semua jendela (hanya tampilan; objek tetap dianalisis dan tetap ada di tabel).
- **By Property...** — pilih frame menurut penampang, orientasi (kolom/balok/miring) dan level Z. Antar-daftar berlaku DAN, dalam satu daftar ATAUI; jumlah terpilih tampil sebagai pratinjau.
- **By Group...** — pilih anggota grup yang dibuat di **Definition** → **Groups** (M5.1).

M3.2 Draw

- **Draw Frame** — klik titik-titik berurutan di 2D atau 3D; titik menempel (*snap*) ke node, titik tengah frame, lalu perpotongan grid. Klik kanan atau Esc mengakhiri rantai (perintah tetap aktif), Esc kedua keluar. Penampang frame baru dipilih di dropdown **Section**. Titik yang bertumpuk di layar 3D memunculkan menu koordinat untuk dipilih.
- **Draw Area** — klik 3 atau 4 sudut sebidang (segitiga atau segi-4 cembung) untuk pelat atau dinding; Enter / klik kanan setelah 3 titik membuat segitiga. Area menyalurkan beban ke frame di tepinya (→ R2.8).
- **Quick Area** — di tampilan Plan, klik di dalam petak grid untuk membuat area seluas petak itu.
- **Node by Coord...** — node pada koordinat yang diketik (mis. puncak atap yang tidak di grid).
- **Frame by Nodes...** — frame dari node i ke node j yang dipilih di dialog.

Node yang terletak di tengah frame lain otomatis tersambung saat analisis (balok anak boleh bertumpu di tengah balok induk tanpa memotong balok induk) → R1.6.

M3.3 Geometry: Node/Frame Tables

Membuka tab **Nodes** dan **Frames** di panel bawah. Label, koordinat node, dan node awal/akhir frame bisa diedit; baris paling bawah menambah objek baru. Blok sel dari spreadsheet bisa ditempel (koma desimal diterima; baris judul dilewati). Perubahan diterapkan saat Enter atau pindah sel; koordinat kembar dan konektivitas ganda ditolak dengan pesan di status bar.

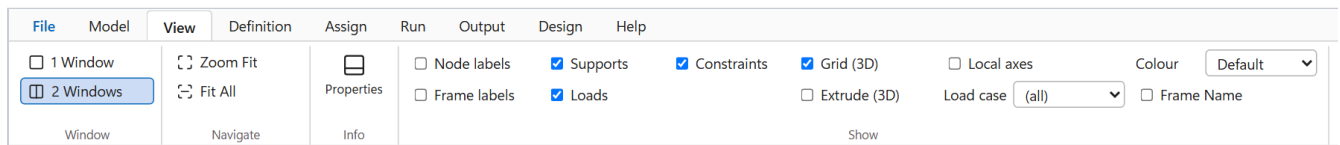
M3.4 Modify

- **Move** — klik titik acuan lalu titik tujuan, atau ketik dX/dY/dZ di panel kecil di atas jendela. Ujung frame yang juga dipakai frame lain yang tidak dipilih tidak ikut pindah (frame terpilih mendapat node baru), sehingga frame lain tidak berubah.
- **Copy** — seperti Move tetapi menyalin; salinan membawa penampang, sumbu lokal, release, offset, perilaku tarik/tekan, overwrite desain, dan beban frame.
- **Replicate...** — **Linear** (jarak dX/dY/dZ × jumlah salinan; tombol klik dua titik untuk mengisi jarak), **Radial** (putar terhadap sumbu X/Y/Z dengan sudut per salinan), **Mirror** (cermin terhadap bidang X/Y/Z = nilai atau bidang

sembarang), dan **Move**. Arah beban global dan sumbu lokal ikut diputar/dicerminkan; tumpuan tetap pada sumbu global.

- **Divide** — membagi frame menurut jumlah, jarak, perpotongan dengan frame lain, atau perpotongan dengan garis grid. Beban ikut terbagi; release hanya di ujung luar.
- **Join** — menggabung frame segaris yang bersambung di node tanpa frame, tumpuan, constraint atau beban lain; penampang dan sumbu lokal harus sama.
- **Delete** (Del) dan **Remove Free Nodes** (hapus node yang tidak dipakai).

M4. Menu View



Tab View.

- **1 Window / 2 Windows** — jumlah jendela tampilan. Jenis tampilan tiap jendela dipilih di headernya.
- **Zoom Fit (F) / Fit All** — memperbesar model agar pas di jendela aktif / semua jendela.
- **Properties** — membuka panel Properties untuk objek terpilih (ikut mengikuti pilihan).
- **Show: Node labels, Frame labels, Supports, Loads** (dengan filter **Load case**; ukuran simbol sebanding nilai beban), **Constraints** (penanda ungu), **Grid (3D)**, **Extrude (3D)** (penampang sebenarnya digambar di 3D), **Local axes** (panah 1 merah, 2 hijau, 3 biru — → [R1.2](#)).
- **Colour** — satu warna atau satu warna per penampang dengan legenda. **Frame Name** menulis id penampang (S1, S2, ...) di tiap frame.

Di tampilan **Plan**, kolom yang terhubung ke level itu digambar sebagai penampangnya: menerus (terisi), berhenti di level ini (garis putus-putus), atau baru naik dari level ini (terisi + silang; kolom transfer bila berdiri di balok).

M5. Menu Definition

File	Model	View	Definition	Assign	Run	Output	Design	Help		
										
Grid	Groups	Materials	Frame Sections	Shell Sections	Constraints	Load Cases	Load Combos	Combo Groups	Seismic	Mass Source
Geometry		Properties			Joint	Loads			Mass	

Tab Definition.

M5.1 Geometry: Grid dan Groups

- **Grid** — koordinat garis grid X, Y dan level Z, serta **nama level Z** (Base/Story1..., awalan + nomor, nilai elevasi, atau manual). Nama level dipakai di gelembung grid, daftar bidang, dan *By Property*.
- **Groups** — kumpulan node dan frame bernama: **New** dari pilihan saat ini, ganti/tambah/keluarkan anggota, ganti nama, salin, hapus. Grup tidak memengaruhi analisis.

M5.2 Properties: Materials, Frame Sections, Shell Sections

- **Materials** — E, G, massa jenis, dan mutu (F_y/F_u untuk baja, f_c' untuk beton). **Fill from preset**: baja BJ 34–55 dan ASTM, beton f_c' 20–40 MPa atau mutu K ($f_c' = 0,83 \cdot K/10$). Berat sendiri = massa jenis $\times A \times g$ ([→ R1.1](#), [R2.3](#)).
- **Frame Sections** — beton persegi $b \times h$ atau lingkaran D; profil baja WH, I-Beam, UNP, CNP, siku, SHS, RHS, pipa, CT dari database JIS atau ukuran custom (kanal ringan dan Z ber-lip: custom), dengan gambar penampang dan properti otomatis (A, I33, I22, J [→ R1.4](#)). **Property modifier**: faktor A, I33, I22, J, massa, berat; tombol *Cracked beam 0.35lg / Cracked column 0.70lg* ([→ R1.5](#)). Penampang beton kolom dapat diberi **tulangan terpasang** (diameter, jumlah batang per sisi atau keliling, spiral) agar kolom dicek dengan tulangan itu (*mode cek* [→ R7.3](#)).
- **Shell Sections** — tebal dan material pelat/dinding untuk berat sendiri area.

M5.3 Joint: Constraints

Definisi joint constraint: **Rigid**, **Diaphragm** (pelat lantai kaku di bidangnya), **Plate**, **Beam**, atau **Custom** (pilih DOF), sumbu normal, dan opsi satu constraint per level. Di-assign lewat **Assign** $\rightarrow$ **Joint/Area** $\rightarrow$ **Constraints**. Teori [→ R1.8](#).

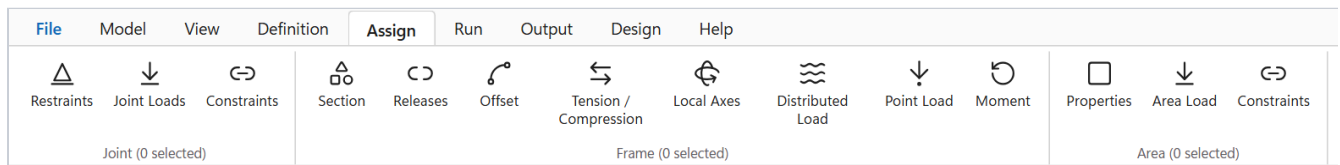
M5.4 Loads: Load Cases, Load Combos, Combo Groups, Seismic

- **Load Cases** — nama, **type** (Dead, Superdead, Live, Roof live, Rain, Wind, Quake, Notional, piping, equipment, isi operasi/uji, termal, dan lain-lain [→ R2.4](#)) dan **faktor berat sendiri** (default 1 hanya pada case Dead pertama). Tipe **Notional** membuat beban notional SNI 1729 dari case dasar (tombol **Notional DAM** [→ R2.5](#)). Tipe **Quake** punya baris **Lateral load**: *Manual*, *Auto (ELF)*, *Semi-auto (C_s, k)* atau *Response spectrum* (CQC/SRSS) dengan arah X/Y ([→ R3](#)).
- **Load Combos** — daftar kombinasi {load case $\times$ faktor}, tipe *Strength* (LRFD) atau *Service* (ASD), dan keterangan. **Combination generator**: basis SNI 1727:2020 + SNI 1726:2019 atau PIP STC01015 Tabel 4/5, tipe kuat/layan, S_{DS} , ρ , angin & gempa dua arah ($\pm$), gempa 100 % + 30 %, faktor L = 0,5, beban notional pada kombinasi gravitasi. Format nama: *1.4DEAD* atau *1.4D*. Rincian kombinasi [→ R2.7](#).
- **Combo Groups** — grup kombinasi bernama. Envelope dapat dibatasi per grup ($Env \cdot nama\ grup$); grup bertanda **design** menentukan kombinasi untuk Check Design ([→ R2.9](#)).
- **Seismic** — parameter SNI 1726:2019: S_s , S_1 , kelas situs SA–SE (F_a/F_v otomatis atau manual), TL, R, Ie, tipe struktur untuk T_a , S_{DS} , S_{D1} , T_0 , T_s dan grafik spektrum tampil langsung ([→ R3.1](#)).

M5.5 Mass: Mass Source

Sumber massa untuk modal dan beban gempa: massa sendiri elemen (dari massa jenis) dan/atau massa dari beban load case $\times$ faktor (mis. $\text{SDL} \times 1$, $\text{LIVE} \times 0,25$). Aturan lengkap [→ R2.6](#).

M6. Menu Assign



Tab Assign. Judul grup menunjukkan jumlah objek terpilih.

Perintah Assign bekerja pada objek yang sedang dipilih. Sebagian besar dialog punya mode **Add** (tambah), **Replace** (ganti) dan **Delete** (hapus) per load case. Semua nilai yang di-assign juga terlihat dan bisa diedit di panel **Properties** (M10.3).

M6.1 Joint

- **Restraints** — *Assign Joint Restraints & Springs*: tahanan per DOF (UX, UY, UZ, RX, RY, RZ; preset jepit, sendi, rol) dan **pegas tumpuan** k per DOF (0 = tanpa pegas; DOF yang ditahan menonaktifkan pegasnya). → R1.9.
- **Joint Loads** — gaya dan momen di node (sumbu global) per load case.
- **Constraints** — memasang/melepas constraint (M5.3) pada node terpilih; DOF yang bentrok ditolak. Node ber-constraint ditandai belah ketupat ungu.

M6.2 Frame

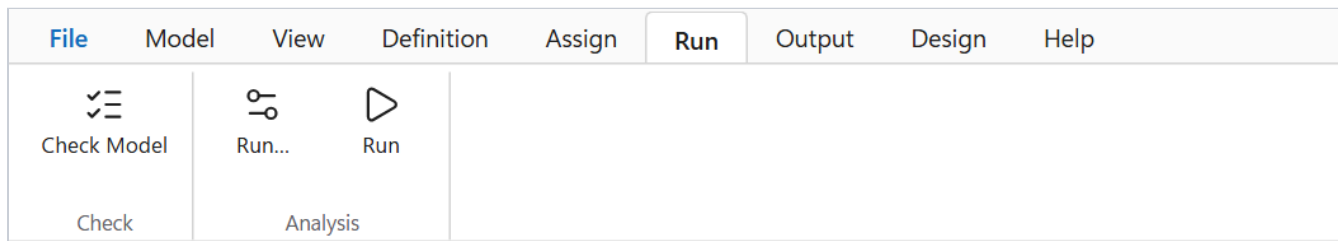
Perintah	Isi	Teori
Section	Penampang frame terpilih	R1.4
Releases	Release P, V2, V3, T, M2, M3 di ujung i/j dan faktor release momen parsial M2/M3 (0 = jepit, 1 = sendi); preset sendi kedua ujung, truss, dll. Kombinasi tidak stabil ditolak langsung	R1.7
Offset	End offset lengan kaku (global $\Delta X/\Delta Y/\Delta Z$ atau lokal $\Delta 1/\Delta 2/\Delta 3$ per ujung) dan insertion point (cardinal point 1–10, opsi <i>Transform</i> kekakuan)	R1.10
Tension / Compression	<i>Normal, Tension only, Compression only</i> (batas 0 kN); kombinasi menjadi analisis non-linear	R5.4
Local Axes	Rotasi sumbu 2 & 3 terhadap sumbu 1 (ganti atau putar sebesar; tombol 0/90/180/–90°)	R1.2
Distributed Load	Beban merata penuh/sebagian/trapesium/segitiga (empat pasangan posisi–nilai, relatif atau absolut); arah Gravity, Global X/Y/Z, Lokal 1/2/3; opsi <i>per panjang proyeksi</i>	R2.1, R2.2
Point Load	Beban titik di beberapa jarak sepanjang frame	R2.1
Moment	Momen terpusat terhadap sumbu lokal 1/2/3 atau torsi merata sepanjang frame	R2.1

Penanda di tampilan: ujung ber-release = lingkaran teal (parsial = titik terisi), batang tarik/tekan-saja = huruf T/C, lengan offset = garis tebal.

M6.3 Area

- **Properties** — penampang shell (untuk berat sendiri) dan penyaluran **two-way** atau **one-way** dengan arah bentang X/Y/Z. → R2.8.
- **Area Load** — beban merata per luas (gravitasi atau tegak lurus bidang) per load case; disalurkan ke frame tepi.
- **Constraints** — constraint (mis. diafragma) untuk semua node area: sudut, node di tepi, dan node di dalam.

M7. Menu Run



Tab Run.

M7.1 Check Model

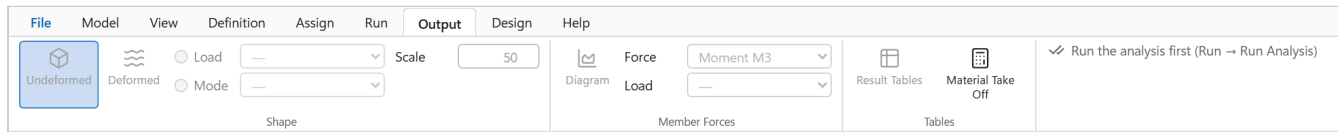
Memeriksa model tanpa menyelesaikan persamaan, dalam dua tahap: (1) di browser — kelengkapan model dan assignment, node berimpit, koordinat di luar kelipatan 0,1 mm; (2) di server — membuat model analisis dan menguji matriks kekakuan; mekanisme dilaporkan sampai ke node dan DOF-nya. Bagian **Clean up** menyediakan **Merge Nodes** (toleransi default 0,001 m) dan **Round Coordinates**. Bila Run gagal, Check Model terbuka otomatis dengan penyebabnya.

M7.2 Run... dan Run

- **Run...** (Shift+F5) — dialog opsi:
 - **Static** — semua load case dan kombinasi;
 - **P-Delta (second order) for load combinations** → [R5.1](#);
 - **Direct analysis method (SNI 1729 Chapter C)** — memaksa P-Delta, kekakuan baja 0,8 dan notional 0,001·Yi → [R5.2](#);
 - **Modal (free vibration)** dengan **Number of modes** → [R4.3](#). Dialog menampilkan perkiraan memori server; model yang terlalu besar diberi peringatan sebelum dikirim.
- **Run** (F5) — langsung dengan pengaturan terakhir dari Run... (default: static + modal 6 ragam).

Modal dijalankan otomatis bila ada case gempa Auto atau Response spectrum. Kombinasi dengan batang tarik/tekan-saja selalu dianalisis non-linear. Arti tiap kombinasi opsi → [R5.5](#).

M8. Menu Output



Tab Output.

M8.1 Shape

Undeformed / Deformed. Sumber bentuk deformasi: **Load** (load case, kombinasi atau envelope) atau **Mode** (ragam getar). Skala dihitung otomatis untuk tiap case dan dapat diubah. Bentuk deformasi digambar melengkung sepanjang batang. Frame terpilih diberi label lendutan **Uz maks**, node terpilih diberi Ux/Uy/Uz.

M8.2 Member Forces

Diagram gaya dalam **N, V2, V3, T, M2, M3** per load case, kombinasi atau envelope (*Env · semua, Env · strength, Env · grup*). Isian biru = positif, merah = negatif; momen digambar di sisi tarik. Di 2D nilai ujung dan ekstrem lapangan ditulis; di 3D hanya untuk frame terpilih. Envelope memberi label kombinasi penentu. Konvensi tanda → [R4.2](#).

M8.3 Tables: Result Tables dan Material Take Off

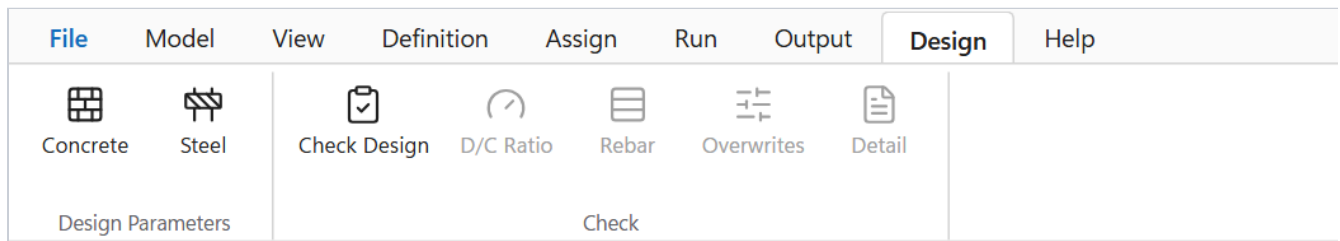
Result Tables membuka tabel hasil di panel bawah:

Tab	Isi
Displacement	Perpindahan node, atau perpindahan frame terpilih per station termasuk Uz maks di antara station
Reactions	Reaksi tumpuan dan pegas
Member Forces	Gaya dalam per station (frame terpilih, maks. 200 frame); dua baris pada titik beban terpusat
Modal Periods	Periode, frekuensi, rasio massa partisipasi UX/UY/UZ dan kumulatifnya
Seismic	W, Ta, Cu-Ta, T modal, T dipakai, Cs, k, Vt, faktor skala, V per case gempa (→ R3)
Diaphragms	Pusat massa dan pusat kekakuan tiap diafragma (→ R4.4)
Steel Design / Concrete Design	Hasil desain (M9)

Header tabel menampilkan jenis analisis (orde-2, amplifikasi, iterasi). Setiap tab bisa diekspor ke **.xlsx** (semua baris, termasuk kombinasi penentu envelope).

Material Take Off — panjang/luas, volume, berat dan massa per penampang dan material; tidak butuh analisis; dapat diekspor ke **.xlsx**.

M9. Menu Design



Tab Design.

M9.1 Design Parameters

- **Concrete** (SNI 2847:2019) — sistem rangka SRPMB/SRPMM/SRPMK, faktor ϕ , f_y/f_{yt} , selimut, diameter tulangan dan sengkang, desain balok di muka kolom, *Ignore beam torsion*. Default → [R7.1](#).
- **Steel** (SNI 1729:2020) — metode **LRFD** atau **ASD**, faktor ϕ , K global, batas rasio. Default → [R6.2](#).

Parameter disimpan di model dan tidak menghapus hasil analisis.

M9.2 Check Design

Menjalankan desain semua frame dari hasil Run terakhir, memakai kombinasi kuat (atau grup bertanda design):

- **Baja** — rasio D/C per frame (mode cek), frame diwarnai menurut rasio dengan legenda; tab **Steel Design**. Kapasitas per profil → [R6.3](#).
- **Beton** — tulangan perlu dan batang terpasang (mis. $6D19 / 3D19 \cdot \emptyset 10-100$), A_v/s , torsi, rasio kolom; tab **Concrete Design**. → [R7](#).

Peringatan tampil bila run tidak sesuai (mis. metode analisis langsung tanpa notional, kolom bergoyang langsung tanpa P-Delta, beton tanpa modifier retak pada run orde-2).

M9.3 Tampilan dan Detail

- **D/C Ratio** — menyalakan/mematikan warna rasio.
- **Rebar** — label tulangan pada frame beton (balok: atas/bawah/sengkang di tumpuan–lapangan–tumpuan; kolom: batang dan sengkang) menggantikan label rasio.
- **Overwrites** — per frame terpilih: baja $L_x/L_y/L_b$ (rasio), K, Cb, siku rangka bidang/ruang dan kaki tersambung, jarak pengaku dan pelat pengaku, gaya terpusat J10; beton *Design as* balok/kolom, kolom langsing tak bergoyang / bergoyang, dan k kolom. → [R6.2](#), [R7.3](#).
- **Detail** — laporan perhitungan langkah demi langkah untuk frame terpilih: pasal, rumus, nilai, rasio; untuk beton juga tabel zona, potongan, elevasi sengkang dan diagram interaksi P-M kolom (→ [R7.4](#)).

M10. Menu Help, navigasi dan panel

File	Model	View	Definition	Assign	Run	Output	Design	Help
 Units	 Shortcuts	 About	 Legal					
Settings	Help	Information						

Tab Help.

M10.1 Menu Help

- **Units** — ganti satuan model ([M1.5](#)).
- **Shortcuts** — daftar pintasan keyboard dan mouse ([M10.2](#)).
- **About** — versi aplikasi dan catatan rilis.
- **Legal** — Syarat Layanan, Kebijakan Privasi, **Batasan Teknis**, pernyataan verifikasi, lisensi pihak ketiga.

M10.2 Pintasan dan mouse

Tombol / gerakan	Perintah
Ctrl+N / Ctrl+S	New / Save
Ctrl+Z / Ctrl+Y (Ctrl+Shift+Z)	Undo / Redo
Ctrl+A / Delete	Select all / hapus pilihan
Spasi	Mode Select dari perintah apa pun (pilihan tetap)
Esc	Akhiri gambar → keluar perintah → kosongkan pilihan
F / F5 / Shift+F5	Zoom fit / Run / Run...
Shift atau Ctrl + klik	Tambah ke pilihan
Klik ganda node/frame	Pilih + buka Properties
2D: scroll / drag tombol tengah atau kanan	Zoom di posisi kursor / pan
3D: drag kiri (Select)	Kotak pilih (kiri→kanan <i>window</i> , kanan→kiri <i>crossing</i>)
3D: drag kanan, Shift + drag, Alt + drag kiri	Orbit (dengan perintah gambar: drag kiri juga orbit)
3D: drag tombol tengah / scroll	Pan / zoom

M10.3 Panel Properties dan tabel

Panel **Properties** menampilkan objek terpilih dan dapat diedit langsung: koordinat dan tumpuan node, penampang dan sumbu lokal frame, serta **setiap beban yang ter-assign** (nilai, arah, posisi, load case, hapus per baris). Kartu frame juga menampilkan A, I, J dan gaya dalam maks/min untuk beban yang dipilih di tab Output. Isian diterapkan saat Enter atau pindah fokus; Esc membatalkan; semua bisa di-undo.

M11. Contoh: portal beton 3D

Contoh ini memakai template bawaan dan menyentuh langkah-langkah utama. Angka hanya ilustrasi.

1. **File → New:** kN, m; grid X 4 garis × 6 m, Y 3 garis × 5 m, Z 4 level × 3,5 m; template *3D frame on the grid*.
2. **Definition → Materials:** preset beton $f_c' 25 \text{ MPa}$.
3. **Definition → Frame Sections:** S1 = B30x50 (persegi $300 \times 500 \text{ mm}$, modifier *Cracked beam*), S2 = K50x50 (modifier *Cracked column*).
4. **Definition → Load Cases:** DEAD (Dead, berat sendiri 1), SDL (Superdead), LIVE (Live), EX dan EY (Quake, *Auto (ELF)* arah X/Y). **Definition → Seismic:** isi Ss, S1, kelas situs, $R = 8$, $I_e = 1$.
5. **Definition → Mass Source:** massa sendiri + $\text{SDL} \times 1 + \text{LIVE} \times 0,25$.
6. **Model → By Property...:** pilih semua balok; **Assign → Frame → Distributed Load:** SDL 10 kN/m, LIVE 5 kN/m (Gravity).
7. Pilih semua node lantai; **Assign → Joint → Constraints:** Diaphragm, satu per level.
8. **Definition → Load Combos → generator:** SNI, kuat, S_{DS} sesuai Seismic, $\rho = 1,3$, gempa 100 % + 30 %.
9. **Run → Check Model**, lalu **Run...:** Static + P-Delta + Modal 12 ragam.
10. **Output → Deformed** (mode 1), **Member Forces → Diagram M3 envelope**; **Result Tables → Seismic** untuk memeriksa T dan Vt.
11. **Design → Concrete:** SRPMK; **Check Design**; **Rebar** untuk label tulangan; pilih satu kolom → **Detail**.
12. **File → Report → Full report**, lalu **File → Save**.

Bagian B — Referensi Teknis

R1. Model dan elemen

R1.1 Satuan

- Solver bekerja dengan **satuan konsisten**. Satuan model dipilih saat *New* (panjang m atau mm, gaya N atau kN) dan dapat diganti lewat **Help → Settings → Units**: semua nilai model dikonversi (**M1.5**).
- Percepatan gravitasi $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$, dinyatakan dalam satuan panjang model (mis. 9806,65 mm/s²).
- Massa jenis material adalah **massa** per volume yang konsisten (gaya·s²/panjang⁴, mis. t/m³ untuk kN-m). Berat sendiri = massa jenis × A × g.
- Perhitungan desain bekerja dalam MPa dan mm; mutu material (f_y , f_u , f_c') selalu diisi dalam MPa.

R1.2 Sistem sumbu

Global: kaidah tangan kanan X-Y-Z, **Z ke atas**, gravitasi ke -Z.

Lokal frame (sumbu 1-2-3, konvensi yang lazim pada program analisis rangka 3D):

Sumbu	Arah
1	Sepanjang batang, dari node i ke node j
2	Balok/batang miring: "ke atas" (proyeksi +Z tegak lurus batang). Kolom vertikal: +X global
3	1 × 2 (tangan kanan)

- Rotasi sumbu lokal (**Assign → Frame → Local Axes**) memutar sumbu 2 ke arah 3 terhadap sumbu 1. Balok sepanjang X diputar 90° → sumbu 2 = -Y, sumbu 3 = -Z.
- Lentur vertikal balok diatur **I33** (sumbu kuat profil). Sumbu kuat tabel profil (I_x) dipetakan ke I33, sumbu lemah (I_y) ke I22.

R1.3 Elemen frame 3D

- Elemen Euler-Bernoulli 3D, 2 node, 12 DOF** (3 translasi + 3 rotasi per node). Matriks kekakuan lokal klasik: aksial EA/L , torsi GJ/L , lentur dua bidang ($12EI/L^3$, $6EI/L^2$, $4EI/L$, $2EI/L$), ditransformasi ke global dengan matriks rotasi sumbu lokal.
- Deformasi geser tidak diperhitungkan** (tanpa luas geser / Timoshenko). Untuk balok tinggi atau bentang pendek, lendutan sedikit lebih kecil dibanding program yang secara default memasukkan deformasi geser.
- Fungsi bentuk kubik Hermite: beban titik dan beban merata linier dikonversi ke beban nodal ekuivalen konsisten, sehingga hasil statik di node **eksak**.
- G diinput langsung di material (bukan dihitung dari Poisson).
- Tidak ada kekakuan warping (C_w) pada torsi. Offset ujung kaku lewat end offset / insertion point (**R1.10**); *rigid-zone factor* dan offset otomatis dari lebar kolom sengaja tidak ada.

R1.4 Properti penampang

- Solver membaca **A, I22, I33, J** (dan massa jenis untuk berat dan massa).
- Profil baja dari database JIS (WH, I-Beam, UNP, CNP, siku, SHS, RHS, pipa; 399 ukuran) disalin dari tabel resmi dan dicek silang dengan geometrinya. CT dibuat dari separuh WH. Ukuran custom: properti dihitung dari poligon penampang.
- J tidak ada di tabel JIS**, selalu dihitung: profil terbuka $\Sigma b \cdot t^3/3$ garis tengah, SHS/RHS rumus Bredt (radius tengah $1,5t$), pipa eksak.
- Siku dan Z** dianalisis pada sumbu geometris (I_{xy} diabaikan) kecuali opsi **sumbu utama** dipilih di penampang: kekakuan lalu diputar ke sumbu utama u/v. I_u , I_v dan $\tan \alpha$ dipakai di desain.

- Beton: persegi $b \times h$ dan lingkaran D . Penampang "umum": properti diisi langsung.

R1.5 Property modifier

Tujuan: kekakuan efektif yang berbeda dari penampang utuh — terutama **penampang retak beton** (SNI 2847 § 6.6.3.1.1) — tanpa mengubah dimensi.

- Faktor per penampang: **A, I22, I33, J, massa, berat** (default 1). Tombol preset: *Cracked beam 0.35I_g, Cracked column 0.70I_g*.
- Dikalikan di semua jalur solver: kekakuan statik, modal, P-Delta (termasuk gaya aksial penggerak K_g) dan pemulihan ujung ber-release. Massa dan berat terpisah dari faktor A.
- **Desain tetap memakai penampang utuh** (modifier hanya untuk analisis).
- Hanya per penampang; balok dan kolom berukuran sama cukup dibuat dua penampang.
- **Satu set untuk semua analisis:** kekakuan layan $1,4 \times$ nilai retak (§ 6.6.3.2.2) dan pembagian $(1 + \beta_{ds})$ untuk beban lateral tetap tidak diterapkan (**R5.3**).

R1.6 Model analisis (diskretisasi)

Solver tidak menghitung langsung dari frame yang digambar. Saat Run dibuat **model analisis**:

1. **Translate** — beban tingkat tinggi, beban area dan berat sendiri diubah ke beban primitif.
2. **Sambung node di tengah frame** — node model yang terletak pada garis sebuah frame (di antara ujungnya) disambung ke frame itu, sehingga balok anak boleh bertumpu di tengah balok induk tanpa memotong balok induk. Perpotongan dua frame tanpa node **tidak** disambung.
3. **Discretize** — tiap frame dibagi **6 sub-elemen** segaris, ditambah titik potong di bawah beban titik/momen dan di awal/akhir beban merata sebagian. Titik bagi yang berjarak $\leq \frac{1}{4}$ pembagian dari beban digeser ke posisi beban.
4. **Map loads** — beban ke node/sub-elemen analisis, per load case.

Alasannya: hasil (lendutan, gaya dalam) tersedia di titik sepanjang batang; distribusi massa cukup halus untuk modal (periode kantilever $\approx 1,3\%$ dari solusi kontinu dengan 6 sub-elemen); dan **P-δ** (lengkungan batang) ikut terhitung di analisis orde-2. Node internal tidak terlihat; hasil dipetakan balik ke node fisik dan station.

R1.7 End release

- Release per ujung dalam sumbu lokal: P, V2, V3, T, M2, M3.
- Metode: **kondensasi statik** pada sub-elemen ujung: $k^* = k_{aa} - k_{ar} \cdot k_{rr}^{-1} \cdot k_{ra}$; beban ujung-jepit dikondensasi dengan cara yang sama. Gaya yang di-release = 0 di ujung itu; joint tetap utuh.
- **Release momen parsial** (faktor $f = 0,001-1$) pada M2/M3: pegas rotasi seri antara joint dan ujung batang, $k = (1 - f)/f \cdot 4EI/L$ (L = panjang lentur batang fisik, EI dengan modifier). Kekakuan rotasi ujung (ujung lain jepit) = $(1 - f) \cdot 4EI/L$. $f = 1 \rightarrow$ sendi penuh; $f \rightarrow 0 \rightarrow$ jepit. Dengan pegas S : $M = k_{rr} + S$; $k^*_{aa} = k_{aa} - k_{ar} M^{-1} k_{ra}$, $k^*_{ar} = k_{ar} M^{-1} S$, $k^*_{rr} = S - S M^{-1} S$ ($S = 0$ memberi release penuh). Dipakai sama di statik, modal, P-Delta dan pemulihan gaya dalam. Momen ujung tidak turun sebesar f — balok jepit-jepit beban merata dengan f sama di kedua ujung: $M = wL^2/12 \cdot 2(1 - f)/(2 - f)$ ($f = 0,5 \rightarrow \frac{2}{3} \cdot wL^2/12$).
- Rotasi ujung batang yang di-release dipulihkan untuk tampilan (bentuk deformasi menekuk di sendi).
- Kombinasi release yang membuat batang tidak stabil ditolak: P, T, V2 atau V3 di kedua ujung; M3 di kedua ujung + V2; M2 di kedua ujung + V3.
- Joint yang semua frame-nya me-release suatu rotasi (mis. rangka batang) diberi pegas stabilisasi sangat kecil ($10^{-10} \times$ kekakuan rotasi terbesar) hanya di DOF itu. Bila beban momen masuk ke pegas itu, analisis ditolak ("Mekanisme ...").

R1.8 Joint constraint

Tujuan: memaksa sekelompok joint bergerak sebagai benda kaku pada DOF tertentu (diafragma lantai, dll.).

Tipe	DOF diikat
Rigid (body)	Semua 6
Diafragma, normal Z	UX, UY, RZ (lentur keluar bidang bebas)
Plate/dinding, normal X / Y	X: UY, UZ, RX · Y: UX, UZ, RY
Beam (garis), arah sumbu	Semua kecuali rotasi terhadap sumbu itu
Custom	Pilihan DOF

- **Tanpa master joint:** titik acuan virtual di centroid joint grup; hasil tidak bergantung pada letaknya.
- Kinematika: $u_x = U_x + r_y \cdot dz - r_z \cdot dy$, $u_y = U_y + r_z \cdot dx - r_x \cdot dz$, $u_z = U_z + r_x \cdot dy - r_y \cdot dx$.
- Implementasi eksak lewat transformasi $u = T \cdot u_r$ ($K_r = T^T K T$, $F_r = T^T F$, $M_r = T^T M T$) — **bukan pegas penalti**.
- "Satu per level" membuat satu diafragma per elevasi dari sekali assign. Constraint area berlaku untuk semua node area.
- DOF yang ditahan tumpuan tidak ikut diikat (restraint menang). Satu DOF satu joint hanya milik satu constraint.

R1.9 Tumpuan dan pegas tumpuan

- Restraint per DOF (6 DOF per node): jepit, sendi, rol, atau kombinasi apa pun.
- **Pegas tumpuan:** kekakuan translasi (gaya/panjang) dan rotasi (gaya·panjang/rad) per DOF pada sumbu global, ditambahkan ke diagonal K — ikut statik, modal, P-Delta, tarik/tekan, metode analisis langsung dan constraint. Reaksi pegas = $-k \cdot u$. DOF yang di-restraint mengabaikan pegasnya (restraint menang). Struktur yang hanya ditahan pegas diterima.
- Tumpuan miring (sumbu lokal tumpuan) dan tumpuan tekan-saja (pondasi terangkat) tidak tersedia.
- Model tanpa tumpuan sama sekali ditolak.

R1.10 End offset dan insertion point

Tujuan: batang yang sumbunya tidak melewati node — balok dihitung dari muka kolom, balok rata atas pelat, kolom tepi rata fasad, sambungan eksentris — tanpa menambah node dan batang pendek.

Konsep: lengan kaku. Batang lentur membentang antara titik ujung E_i dan E_j ; tiap titik diikat ke node-nya oleh lengan kaku tak bermassa: $u_E = u_P + \theta_P \times (E - P)$, $\theta_E = \theta_P$.

Input	Asal	Mengubah kekakuan
End offset	Vektor node → ujung batang per ujung; global (ΔX , ΔY , ΔZ) atau lokal ($\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ pada sumbu garis node)	Selalu
Insertion point	Cardinal point 1–10 pada kotak batas penampang	Hanya bila Transform dicentang (default tidak)

Cardinal point dilihat ke arah +1 (dari ujung i) dengan sumbu 2 ke atas dan sumbu 3 ke kanan: 1–3 bawah, 4–6 tengah, 7–9 atas; 1/4/7 kiri (−3), 3/6/9 kanan (+3); 10 = centroid. "Tengah" = tengah kotak batas (UNP/siku: 5 ≠ 10).

Geometri: $Q = P + \text{offset}$; sumbu lokal dari garis $Q_i \rightarrow Q_j$; titik cardinal (c_2 , c_3) diletakkan pada garis itu, jadi sumbu centroid = $Q - (c_2 \cdot l_2 + c_3 \cdot l_3)$. Offset yang menghabiskan atau membalik panjang batang ditolak.

Metode: E menjadi node analisis yang dieliminasi eksak lewat $u = T \cdot u_r$ (mekanisme yang sama dengan constraint [R1.8](#), tanpa pegas penalti dan tanpa DOF tambahan). Bila node juga ber-constraint, $T = T_{\text{link}} \cdot T_{\text{constraint}}$. Reaksi = $L^T(K \cdot u - F)$, jadi gaya di ujung lengan ikut ke tumpuan. Elemen, release, P-Delta, tarik/tekan-saja, modifier dan beban bekerja pada batang lentur seperti biasa.

Aturan yang perlu diketahui

- **Release** bekerja di ujung batang lentur (di E, muka tumpuan).

- **Beban:** posisi beban frame diukur dari E_i sepanjang batang lentur; beban merata "penuh" = sepanjang bagian lentur. Lengan kaku tanpa beban, berat dan massa. Balok yang di-offset ke muka kolom kehilangan $w \cdot a$ per ujung — pada gedung beban itu umumnya sudah dipikul kolom.
- **Output:** station dari E_i sampai E_j ; momen ujung = momen **di muka tumpuan**.
- **Mengapa transform insertion point default mati:** tanpa pelat shell, balok *top-center* yang ditransformasi di lantai berdiafragma kaku bekerja seperti balok komposit dengan pelat kaku tak hingga — pada beban gravitasi muncul gaya tarik di balok, momen lapangan dan lendutan balok turun (portal uji: -13 % dan -19 %), sehingga desain balok tidak konservatif. Simpangan lateral murni praktis tidak berubah.
- **Batasan:** efek orde-2 lengan kaku sendiri diabaikan (K_g hanya dari bagian lentur).

R2. Beban dan kombinasi

R2.1 Beban frame

Jenis	Parameter	Cara diolah
Merata (penuh / sebagian / trapesium / segitiga)	Pasangan posisi–nilai (relatif 0–1 atau absolut)	Batang dipotong di awal & akhir beban; tiap sub-elemen menerima beban liniernya sebagai beban nodal ekuivalen konsisten (eksak untuk beban linier)
Titik	P, jarak	Batang dipotong tepat di bawah beban; station ditulis dua kali (kiri & kanan) agar lompatan geser tergambar
Momen terpusat	M terhadap sumbu lokal 1/2/3, jarak	Seperti beban titik (momen nodal di titik potong)
Torsi merata	m per panjang, penuh bentang	$m \cdot L/2$ di tiap ujung sub-elemen (eksak)
Beban joint	Gaya & momen di node	Langsung ke vektor beban

Momen merata terhadap sumbu 2/3 sengaja tidak ada. Pada frame ber-offset, posisi beban diukur dari ujung offset i dan beban penuh bentang hanya menutup bagian lentur (**R1.10**); berat sendiri juga hanya bagian lentur.

Arah beban frame: *Gravity* (default) –Z, nilai positif ke bawah; *Global X/Y/Z* positif searah sumbu; *Lokal 1/2/3* mengikuti sumbu lokal batang (balok sepanjang X: 1 = +X, 2 = +Z, 3 = –Y). Beban merata disimpan sebagai vektor global per sub-elemen lalu diuraikan ke sumbu lokal saat perakitan — **eksak untuk kolom dan batang miring**.

R2.2 Beban per panjang proyeksi

- Untuk beban yang didefinisikan per luas denah/proyeksi (mis. atap miring), arah Gravity / X / Y / Z saja.
- Intensitas sepanjang batang = $w \cdot \sin(\text{sudut batang–beban}) = w \cdot \sqrt{1 - (\hat{x} \cdot \hat{d})^2}$.
- Contoh: atap miring 4 : 3 dengan gravity proyeksi memikul $w \times 4$ (panjang denah); kolom memikul 0. Beban X proyeksi memikul $w \times \text{tinggi}$.

R2.3 Berat sendiri

- Berat sendiri = massa jenis $\times A \times g$ per panjang (arah –Z), dikali **faktor berat sendiri** tiap load case.
- Default: faktor 1 hanya untuk **load case Dead pertama**, 0 untuk yang lain — agar berat sendiri tidak terhitung dua kali. Faktor "berat" pada property modifier mengalikan berat sendiri penampang itu.
- Area penyalur beban: massa jenis $\times \text{tebal} \times g$ per luas, dengan faktor yang sama (**R2.8**).

R2.4 Tipe load case

D dead, SD superdead, L live, Lr roof live, R hujan, W angin, Wp angin parsial (saat uji, PIP ps. 4.1.4.5), E gempa, F hidrostatis, H tekanan tanah, CR crane/lifting, P piping, EQ equipment (berat kosong), OP isi operasi, HT media uji (hidrotes), Ts termal tetap, Tt termal sementara, O other, N notional. Tipe termal = beban yang diinput (mis. gaya angkur pipa = Ts, gesek pipa saat start-up = Tt); beban suhu $\alpha \cdot \Delta T$ pada frame tidak ada. Solver hanya membedakan **dead** (default berat sendiri), **notional**, dan **quake** dengan beban yang dibangkitkan (**R3**); tipe lain dipakai generator kombinasi.

R2.5 Beban notional (SNI 1729 § C2.2b)

Tujuan: mewakili ketidaksempurnaan geometri awal (ketidaktegakan kolom) untuk metode analisis langsung.

- Load case bertipe **notional**: {case dasar, rasio (default 0,002), arah X atau Y}. Tombol **Notional DAM** membuat N... X dan N...Y untuk tiap case gravitasi (dead, superdead, live, piping, equipment, crane).

- Di **tiap node model analisis** (termasuk node internal sub-elemen): gaya lateral = rasio × beban vertikal ke bawah case dasar di node itu (termasuk berat sendiri). Node dengan beban netto ke atas tidak diberi notional.
- Case notional tidak bisa diberi beban lain dan tanpa berat sendiri. Arah -X / -Y lewat faktor negatif di kombinasi.
- Notional tambahan $0,001 \cdot Y_i$ ($\tau_b = 1$) **bukan** load case: ditambahkan otomatis saat metode analisis langsung aktif (R5.2).

R2.6 Mass source

- **Massa sendiri** (default aktif): massa jenis × A × L, setengah ke tiap ujung sub-elemen (faktor massa modifier ikut); area penyalur beban: massa jenis × tebal × luas.
- **Massa dari load case × faktor**: komponen beban yang diinput berarah **ke bawah** (-Z) diubah menjadi massa W/g, bekerja di translasi X, Y, Z. Beban ke atas, beban X/Y dan momen tidak menambah massa.
- Berat sendiri hasil faktor load case **tidak** ikut dari jalur load case, sehingga massa sendiri tidak terhitung dua kali.
- **Beban linier** (segitiga/trapesium, mis. beban area yang disalurkan ke balok) dilump per sub-elemen dengan **reaksi balok sederhana**: $h \cdot (2w_i + w_j)/6$ dan $h \cdot (w_i + 2w_j)/6$. Sebagian program memakai geser ujung balok jepit ($3/20 \cdot 7/20$); massa total sama, periode berbeda sangat kecil ($\pm 0,05$ % pada model uji).
- Massa total nol → analisis modal ditolak.

R2.7 Kombinasi beban

- Kombinasi = daftar {load case: faktor}. Analisis linear: hasil kombinasi = **superposisi** hasil load case. Analisis non-linear (P-Delta, metode analisis langsung, tarik/tekan-saja): tiap kombinasi **dianalisis sendiri**.
- Tiap kombinasi bertipe **strength** (kuat/LRFD, default) atau **service** (layan/ASD) dan punya keterangan bebas (generator mengisi nomor pasal). Keduanya tidak dibaca solver. Check Design memakai kombinasi strength (baja ASD: service) kecuali grup bertanda design menyebut yang lain.

Generator kombinasi kuat (LRFD) — SNI 1726:2019 ps. 4.2.2.1 (= SNI 1727:2020 ps. 2.3.1) + ps. 7.4.2.3:

No.	Faktor
1	$1,4D (+ 1,4F, 1,6H)$
2	$1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) (+ 1,6CR, 1,2F, 1,6H)$
3	$1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$ — hanya bila ada case Lr/R
4	$1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$ ($L = 1,0$ atau $0,5$)
5	$(1,2 + 0,2 \cdot S_{DS})D + \rho E + L$
6	$0,9D + 1,0W$
7	$(0,9 - 0,2 \cdot S_{DS})D + \rho E$

Generator kombinasi layan (ASD) — SNI 1726:2019 ps. 4.2.3.1 (= SNI 1727:2020 ps. 2.4.1) + ps. 7.4.2.3; F dan H faktor 1,0:

No.	Faktor
1	D
2	D + L
3	D + (Lr atau R) — bila ada case Lr/R
4	D + 0,75L + 0,75(Lr atau R) — bila ada case Lr/R
5	D + 0,6W; $(1,0 + 0,14 \cdot S_{DS})D + 0,7\rho E$
6a	D + 0,75L + 0,75(0,6W) + 0,75(Lr atau R)

No.	Faktor
6b	$(1,0 + 0,105 \cdot S_{DS})D + 0,75L + 0,75(0,7pE) + 0,75(Lr \text{ atau } R)$
7	$0,6D + 0,6W$
8	$(0,6 - 0,14 \cdot S_{DS})D + 0,7pE$

"Lr atau R": tiap case Lr/R diambil satu per satu. **Termal** (opsi): tiap case Ts atau Tt satu per satu dengan faktor 1,0 (kuat, SNI 1727 ps. 2.3.4) atau 0,75 (layan, ps. 2.4.4), di samping kombinasi tanpa termal; tidak masuk kombinasi uplift. Arah $\pm$ termal dibuat sebagai dua case.

Opsi generator: S_{DS} (terisi dari Definition $\rightarrow$ Seismic bila ada), ρ (1,0 / 1,3), W dan E dua arah ($\pm$), **100 % + 30 %** untuk dua atau lebih case gempa (SNI 1726 ps. 7.5.3), faktor L 0,5 di kombinasi kuat W/E, dan beban notional (hanya kombinasi kuat: tiap kombinasi gravitasi menjadi +X, -X, +Y, -Y dengan faktor notional = faktor case dasarnya; kombinasi lateral tanpa notional, § C2.2b(4)). *Replace* hanya mengganti kombinasi bertipe sama.

Isi equipment (basis SNI): piping, equipment dan isi operasi OP dihitung sebagai beban mati; isi operasi tidak masuk kombinasi uplift 6/7; media uji HT dan angin parsial Wp tidak dibangkitkan.

PIP STC01015 (April 2017) ps. 4.2.2.2, gedung & open frame — Tabel 5 (kuat) dan Tabel 4 (layan). Ds = D (mati + superdead); De = piping + equipment (berat kosong); Do = De + isi operasi OP; Dt = De + media uji HT (ps. 4.1.2.3). Tanpa case OP, piping + equipment dianggap Do dan kondisi kosong hanya Ds (konservatif untuk uplift).

No.	Tabel 5 (kuat)	No.	Tabel 4 (layan)
5-1.1	$1,4(Ds + Do) + 1,2Ts$	4-1.1	$Ds + Do + Ts$
5-1.2	$1,4(Ds + Dt) + 1,2Ts$	4-1.2	$Ds + Do + Ts + Tt$
5-2.1	$1,2(Ds + Do) + 1,2Ts + 1,0Tt + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$	4-1.3	$Ds + Dt + Ts + Tt$
5-2.2	$1,2(Ds + Dt) + 1,2Ts + 1,0Tt + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$	4-2.1 / 4-2.2	$Ds + Do/Dt + Ts + L$
5-3.1 / 5-3.3	$1,2(Ds + Do/Dt) + 1,2Ts + 1,0Tt + 1,6(Lr \text{ atau } R) + 0,5L$	4-3.1 / 4-3.2	$Ds + Do/Dt + Ts + (Lr \text{ atau } R)$
5-3.2 / 5-3.4	$1,2(Ds + Do/Dt) + 1,2Ts + 1,6(Lr \text{ atau } R) + 0,5W$	4-4.1 / 4-4.2	$Ds + Do/Dt + Ts + 0,75Tt + 0,75L + 0,75(Lr \text{ atau } R)$
5-4.1	$1,2(Ds + Do) + 1,2Ts + 1,0W + 0,5L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$	4-5.1	$Ds + Do + Ts + 0,6W$
5-4.2	$1,2(Ds + Dt) + 1,2Ts + 1,0Wp + 0,5L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$	4-5.2	$Ds + Do + Ts + 0,7Eo$
5-5	$1,2(Ds + Do) + 1,2Ts + 1,0Eo + 0,5L$	4-5.3	$Ds + Dt + Ts + 0,6Wp$
5-6.1	$0,9(Ds + De) + 1,2Ts + 1,0W$	4-6a.1 / 4-6a.2	$Ds + Do/Dt + Ts + 0,75L + 0,75(0,6W/Wp) + 0,75(Lr \text{ atau } R)$
5-6.2	$0,9(Ds + Do) + 1,2Ts + 1,0W$	4-6b	$Ds + Do + Ts + 0,75L + 0,75(0,7Eo)$
5-7.1	$0,9(Ds + De) + 1,2Ts + 1,0Ee$	4-7.1 / 4-7.2	$0,6(Ds + De/Do) + Ts + 0,6W$
5-7.2	$0,9(Ds + Do) + 1,2Ts + 1,0Eo$	4-8.1 / 4-8.2	$0,6(Ds + De/Do) + Ts + 0,7Ee/Eo$
5-8.1 / 5-8.2	$1,2(Ds + Do/Dt) + 1,2Ts + 1,2Tt + 0,5L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$		

Penerapan: Ts ada di semua kombinasi, Tt hanya di baris yang menyebutnya (tidak pernah bersama W/E); beberapa case Ts/Tt diambil satu per satu; 5-8.x dan 4-1.2 hanya bila ada case Tt. Faktor Ts di 5-1.x = 1,4 (catatan h); di kasus uplift 1,2 / 1,0 (Ts dianggap menambah uplift — ubah manual bila menahan). Kombinasi uji (Dt, Wp) hanya bila ada

case HT (dan Wp). Catatan b/d/e tabel PIP tidak diterapkan otomatis. L 0,5 (catatan f) lewat opsi faktor L; 5-8.x selalu 0,5L. Ee = Eo = case gempa model (massa operasi; konservatif untuk 5-7.1 / 4-8.1); suku vertikal $\pm 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D$ ikut. Salju S tidak dibuat. F, H, crane/lifting mengikuti aturan SNI.

Asumsi generator: F memakai faktor beban mati (tidak masuk $0,9D + W / 0,6D + 0,6W$); H selalu 1,6 (kuat) / 1,0 (layan), dianggap menambah efek; crane/lifting mengikuti faktor beban hidup (SNI 1727 ps. 4.9).

R2.8 Area penyalur beban

Tujuan: pelat lantai, atap dan dinding yang hanya meneruskan beban ke balok/kolom di tepinya — tanpa kekakuan pelat (pelat dianggap tidak ikut memikul lentur global; kekakuan bidangnya diwakili constraint diafragma bila perlu).

- Area = poligon **cembung dan sebidang** (≥ 3 sudut, tidak ada tiga sudut segaris), datar, miring atau tegak.
- **Beban area** q per luas bidang: *gravitasi* ($-Z$, per luas bidang miring) atau *normal bidang* (mis. angin pada dinding). Berat sendiri area = massa jenis $\times$ tebal $\times$ g, dengan faktor berat sendiri load case.
- **Dua arah:** setiap titik area memikul ke **tepi terdekat** (garis bagi sudut) $\rightarrow$ segitiga/trapesium pada tepi persegi panjang; persegi a: segitiga dengan puncak $q \cdot a/2$, total $q \cdot a^2/4$ per tepi.
- **Satu arah** X / Y / Z (diprojeksikan ke bidang area): beban merentang sejajar arah itu ke dua tepi yang memotongnya; persegi panjang: merata $q \cdot L/2$ pada tepi tegak lurus bentang.
- Tepi area boleh terdiri atas beberapa frame (balok terpecah); bagian tepi tanpa frame menyalurkan bebannya ke node ujung celah dengan reaksi balok sederhana (Check Model memberi peringatan). Frame tumpang-tindih pada satu tepi tidak menghitung beban dua kali.
- Σ beban yang disalurkan = $q \times$ luas (diverifikasi untuk segitiga, segi-4 sembarang, segi-5/6, bidang miring 3D).
- Massa area ikut mass source (massa sendiri) dan disalurkan dengan aturan yang sama; massa beban linier **R2.6**.
- Constraint area berlaku untuk semua node area (sudut, node di tepi, node di dalam).
- Elemen pelat ber-mesh (membrane/plate/shell) **tidak tersedia** di versi ini.

R2.9 Grup kombinasi dan envelope

- **Grup kombinasi:** kumpulan kombinasi bernama. Tanda **design** menentukan kombinasi yang dipakai Check Design; tanpa grup bertanda design, semua kombinasi kuat dipakai. Grup tidak dibaca solver.
- **Envelope:** maks/min per node dan per station atas semua kombinasi (atau satu grup, atau per tipe strength/service), untuk tiap komponen (perpindahan, reaksi, N, V2, V3, T, M2, M3), dengan kombinasi penentunya. Dihitung dari hasil run yang sama tanpa analisis tambahan.

R3. Beban gempa SNI 1726:2019

R3.1 Parameter dan spektrum desain

- **Definition → Seismic:** S_s , S_1 , kelas situs SA–SE (F_a/F_v dari Tabel 6/7 dengan interpolasi linear; opsi F_a/F_v manual untuk SF atau studi spesifik-situs), T_L (Gambar 20: 6/8/12/16/20 s, default 20), R , I_e , tipe struktur untuk T_a (Tabel 18: C_t , α).
- $S_{MS} = F_a \cdot S_s$, $S_{M1} = F_v \cdot S_1$, $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$, $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$, $T_0 = 0,2 \cdot S_{D1}/S_{DS}$, $T_s = S_{D1}/S_{DS}$; spektrum § 6.4 (S_a naik linear sampai T_0 , datar S_{DS} sampai T_s , S_{D1}/T sampai T_L , $S_{D1} \cdot T_L/T^2$ setelahnya).
- Tabel dan rumus disalin dari teks SNI 1726:2019.

R3.2 Lateral load pada load case Quake

Pilihan	Isi
Manual	Beban yang di-assign pemakaian
Auto (ELF)	Statik ekuivalen § 7.8: T = periode ragam dengan massa partisipasi terbesar di arah itu, dibatasi $C_u \cdot T_a$ (§ 7.8.2); C_s pers. 31–35; k § 7.8.3; $F_x = C_{vx} \cdot V$ (pers. 40–41)
Semi-auto (C_s)	$V = C_s \cdot W$ dengan C_s dan k dari pemakaian; distribusi vertikal sama
Response spectrum	§ 7.9.1: $S_a(T_n) \cdot g \cdot I_e/R$ per ragam, CQC (redaman 5 %) atau SRSS

- Arah +X atau +Y global; –X/–Y lewat faktor negatif kombinasi. Case gempa yang dibangkitkan tidak boleh punya beban yang di-assign dan tanpa berat sendiri.
- **T untuk C_s :** min(T modal, $C_u \cdot T_a$) secara literal (§ 7.8.2, § 7.9.1.4.1); bila T modal < T_a tetap T modal (konservatif).
- Modal dijalankan otomatis bila ada case Auto/RS (jumlah ragam dari dialog Run).

R3.3 Berat seismik dan distribusi gaya

- **W dan w_x** dari Mass Source: massa node model analisis dilump ke joint fisik (aturan tuas sepanjang batang; ujung offset lewat lengan kaku). W = massa di atas dasar $\times g$; dasar = Z terendah node bertumpuan.
- Gaya lateral ELF dikerjakan di joint tiap level menurut $w_x \cdot h_x^k$.

R3.4 Respons spektrum

- Gaya dan reaksi diskalakan ke 100 % V statik ekuivalen bila $V_t < V$ (§ 7.9.1.4.1); simpangan diskalakan ke $C_s \cdot W/V_t$ **hanya bila C_s ditentukan pers. 35** ($S_1 \geq 0,6$ dan batas $0,5 \cdot S_1/(R/I_e)$ yang menentukan).
- **Hasil bertanda:** besaran CQC/SRSS diberi tanda suku ragam dominan (ragam dengan massa partisipasi terbesar di arah gempa). Case RS lalu berperilaku seperti load case biasa: kombinasi $\pm E$ memberi $S \pm |R|$; envelope dan desain bekerja seperti biasa. Korelasi antar-besaran (mis. P dan M kolom) mengikuti ragam dominan.
- Pada kombinasi non-linear (P -Delta, metode analisis langsung, tarik/tekan-saja) case RS ditambahkan linear di atas solusi non-linear kasus lain; status batang tarik-saja dan notional $0,001 \cdot Y_i$ tidak melihat bagian RS. Case ELF adalah beban biasa dan ikut penuh.
- Tab **Seismic** memberi peringatan bila massa partisipasi < 90 % (§ 7.9.1.1).

R3.5 Belum tersedia

Torsi tak terduga 5 % (§ 7.8.4.2), cek simpangan antar tingkat (C_d/I_e , § 7.8.6) dan koefisien stabilitas θ , kategori desain seismik dan p otomatis, modal dengan kekakuan P -Delta. Pemeriksaan tersebut dilakukan pemakaian di luar aplikasi.

R4. Analisis linear

R4.1 Analisis statik linear

Tujuan: perpindahan, reaksi dan gaya dalam akibat tiap load case dan kombinasi, material elastis linear dan perpindahan kecil (orde-1).

Metode kekakuan langsung:

1. Rakit matriks kekakuan global K dari semua sub-elemen (dengan property modifier, release, constraint, pegas).
2. Susun vektor beban F untuk **setiap load case**.
3. Selesaikan $K_{ff} \cdot u = F_f$ pada DOF bebas. K_{ff} difaktorkan **sekali** (LU sparse), lalu semua load case diselesaikan dengan substitusi balik.
4. Kombinasi = **superposisi linear** hasil load case.

Reaksi: $R = K \cdot u - F$ di DOF tertahan. Suku $-F$ memastikan bagian beban ujung-jepit yang langsung jatuh di tumpuan ikut menjadi reaksi.

Deteksi struktur tidak stabil: mekanisme (tumpuan kurang, joint tanpa kekakuan rotasi yang dibebani momen) dilaporkan dengan lokasi DOF-nya. Hasil juga harus memenuhi persamaannya sendiri: bila $|K \cdot u - F| > 10^{-3} \times \text{beban terbesar pada suatu load case}$, struktur dinyatakan tidak stabil.

R4.2 Gaya dalam dan konvensi tanda

- Enam komponen per station, sumbu lokal: **N, V2, V3, T, M2, M3**.
- Dari perpindahan ujung tiap sub-elemen: $p = k \cdot u - f$ (f = beban ujung-jepit sub-elemen) — **eksak** di station untuk beban titik dan beban merata linier.
- Station: ujung sub-elemen (6 per frame + titik potong beban). Di bawah beban titik/momen ada dua nilai (kiri & kanan). Di antara station diagram menginterpolasi V linier dan M parabola ($dM3/dx = -V2$, $dM2/dx = -V3$).

Konvensi tanda — gaya pada muka potongan positif (normal keluar +sumbu 1):

Komponen	Positif
N	Tarik
V2, V3	Searah +2 / +3 pada muka positif
T	Vektor momen +1 pada muka positif
M2	Tarik di muka -3
M3	Tarik di muka -2 → momen lapangan (sagging) balok positif

Diagram momen digambar di sisi tarik. Contoh balok sendi-rol beban merata: $V2 = -wL/2$ di i, $+wL/2$ di j; $M3 = +wL^2/8$ di tengah.

R4.3 Analisis modal

Metode: masalah nilai eigen umum $K \cdot \phi = \omega^2 \cdot M \cdot \phi$ pada DOF bebas.

- **Massa lumped:** massa translasi di node (setengah massa sub-elemen ke tiap ujung + massa dari load case); inersia rotasi = 0.
- Model kecil-sedang: solver eigen dense; model besar: *shift-invert* sparse di sekitar 0 untuk ragam terendah.
- Jumlah ragam 1–50; diurutkan dari periode terpanjang. Constraint ikut di ruang DOF tereduksi ($M_r = T^T M T$).
- Output: periode T , ω , bentuk ragam, rasio massa partisipasi $U_X/U_Y/U_Z$ dan kumulatifnya. Gaya dalam bentuk ragam tidak dilaporkan. Bentuk ragam dinormalisasi massa ($\phi^T M \phi = 1$) lalu, untuk tampilan, ke puncak translasi 1 m.

Akurasi: kantilever seragam, galat periode ragam 1 $\approx$ 1,3 % dengan 6 sub-elemen (0,46 % dengan 10); jepit-jepit 0,04 %.

Perlu diingat: modal selalu linear dengan kekakuan penuh (atau modifier). P-Delta dan metode analisis langsung tidak memengaruhi modal. Batang tarik/tekan-saja di modal **semua aktif** — kekakuan lateral bresing X tarik-saja terhitung dua kali; catat bila periode dipakai untuk desain.

R4.4 Pusat massa dan pusat kekakuan diafragma

Tiap diafragma (grup constraint yang mengikat u_x , u_y dan r_z , semua node pada satu elevasi) dilaporkan di tab **Diaphragms**:

- **Pusat massa** (XCM, YCM): massa translasi node grup dari Mass Source. Massa di node dalam batang dan di ujung offset dilipat dulu ke kedua joint batang dengan aturan tuas.
- **Pusat kekakuan** (XCR, YCR): pada diafragma itu saja (lantai lain bebas) diberikan satuan F_x , F_y dan M_z , lalu dibaca rotasi lantai θ_x , θ_y , θ_z . Gaya lewat pusat kekakuan tidak memutar lantai: $y_{CR} = y_{Fx} + \theta_x/\theta_z$, $x_{CR} = x_{Fy} - \theta_y/\theta_z$. Kekakuan linear penuh (modifier ikut; P-Delta/tarik-tekan tidak).
- Di jendela tampilan: ● pusat massa, ⊕ pusat kekakuan.

R5. Analisis non-linear

Analisis non-linear **tidak bisa disuperposisi**. Load case tetap diselesaikan linear (orde-1), sedangkan **tiap kombinasi dianalisis tersendiri** dengan bebannya yang sudah difaktorkan. Envelope dan Check Design membaca hasil kombinasi non-linear ini.

R5.1 P-Delta (orde-2)

Tujuan: efek beban aksial pada bentuk terdeformasi — **P-Δ** (goyangan antar-ujung batang) dan **P-δ** (lengkungan sepanjang batang).

Teori: $K_t = K + K_g(N)$. K_g = **matriks kekakuan geometrik konsisten** per sub-elemen (McGuire, Gallagher & Ziemian, *Matrix Structural Analysis*, pers. 9.19 tanpa suku momen ujung dan torsi), sebanding gaya aksial N: tekan melunakkan, tarik mengakutkan. Karena tiap frame dibagi 6 sub-elemen, P-δ ikut terwakili.

Iterasi per kombinasi: mulai dari solusi linear → N tiap sub-elemen; rakit $K + K_g(N)$, selesaikan u, hitung N baru; ulangi sampai perubahan $N \leq 1 \times 10^{-4}$ relatif terhadap |N| terbesar (maks. 50 iterasi). Gaya dalam: $p = k \cdot u - f + N \cdot (k_g \cdot u)$; batang ber-release dikondensasi dengan $k + N \cdot k_g$ yang sama.

Deteksi tekuk: bila $K + K_g$ tidak definit positif (pivot faktorisasi LDL^T, uji inersia Sylvester), run dihentikan dengan pesan "struktur tidak stabil".

Output: jumlah iterasi dan **faktor amplifikasi** = rasio simpangan antar-ujung kolom orde-2 / orde-1 terbesar ($\approx B2$), ditampilkan di header tabel.

Kekakuan: elastis penuh (dengan modifier). Suku torsi $N \cdot I_p / A$ sengaja dihilangkan dari K_g : tanpa kekakuan warping, suku itu memberi tekuk torsi palsu pada profil terbuka.

Arti untuk desain baja: P-Delta tanpa metode analisis langsung = **metode panjang efektif** (SNI 1729 Lampiran 7) — desain tetap memakai faktor K.

R5.2 Metode analisis langsung — SNI 1729:2020 Bab C

Komponen	Pasal	Implementasi	Otomatis?
Orde-2 P-Δ + P-δ	C2.1	Mesin P-Delta R5.1 (dipaksa aktif)	Ya
Kekakuan tereduksi	C2.3(a)	Frame baja × 0,8 pada EA, EI dan GJ — hanya pada kombinasi	Ya
$\tau_b = 1 + \text{notional tambahan}$	C2.3(c)	0,001·Yi di tiap node, searah resultan beban horizontal kombinasi	Ya
Notional 0,002·Yi	C2.2b	Load case notional (R2.5) di kombinasi gravitasi ±X/±Y	Tidak — pemakai membuat case dan kombinasinya (dialog Run memberi peringatan)

- Frame baja = profil baja, atau tanpa bentuk dengan material baja. Beton **tidak** direduksi 0,8. Faktor 0,8 dikalikan dengan modifier yang ada.
- Load case dan modal memakai kekakuan penuh.
- Desain baja: $K = 1$ (overwrite K per frame tetap dipakai); peringatan untuk kombinasi tanpa notional, $\Delta 2 / \Delta 1 > 1,7$ tanpa notional (§ C2.2b(4)), dan frame beton tanpa modifier retak.
- Perpindahan kombinasi DAM memakai kekakuan tereduksi dan notional — **bukan untuk cek layan**.
- Tidak dibuat: τ_b variabel, notional otomatis tanpa load case.

R5.3 Orde-2 untuk beton — SNI 2847:2019 § 6.7

SNI 2847:2019	Isi	Di aplikasi
§ 6.6.4 Pembesaran momen	Momen orde-1 $\times \delta_{ns} / \delta_s$	δ_{ns} tak bergoyang di desain beton; δ_s bergoyang tidak — pakai P-Delta
§ 6.7 Analisis orde-2 elastis	P- Δ + P- δ dengan kekakuan tereduksi § 6.6.3.1.1 (balok 0,35lg, kolom 0,70lg)	P-Delta + property modifier retak
§ 6.8 Orde-2 inelastis	Non-linear material	Tidak ada

- Faktor reduksi baja 0,8 otomatis dari opsi DAM; beton dari **modifier yang diinput pemakai** (tombol 0,35 / 0,70 hanya mengisi faktornya). Laporan desain beton memberi peringatan bila frame beton tidak memakai I22 dan I33 < 1.
- Memberi faktor reduksi saja **bukan** analisis orde-2; orde-2 baru terjadi bila P-Delta dicentang.
- Rekomendasi:** struktur beton murni → P-Delta + modifier retak (tanpa DAM). Struktur campuran baja–beton → DAM boleh.
- Tidak diterapkan: kekakuan $1,4 \times$ retak untuk lendutan/simpangan layan (§ 6.6.3.2.2) — simpangan layan konservatif; pembagian I dengan $(1 + \beta_{ds})$ untuk beban lateral tetap.

R5.4 Tarik-saja / tekan-saja

- Batas **0 kN**; batas lain tidak tersedia.
- Load case dan modal: linear, semua batang aktif. Kombinasi: non-linear dengan status batang aktif/nonaktif.
- Batang nonaktif = **release aksial di satu ujung** (bawah untuk tarik-saja, atas untuk tekan-saja); lentur tetap.
- Status dari gaya coba EA/L $\times$ perpanjangan antar-joint, pita mati $10^{-3} \times |N|$ terbesar; iterasi sampai status tetap.
- Bisa digabung dengan P-Delta / DAM.
- Struktur yang tidak stabil setelah batang nonaktif → pesan galat; status berganti-ganti → "tidak konvergen".
- Tidak boleh bersama release P. Tidak tersedia: gap/hook, kabel, tumpuan tekan-saja.

R5.5 Opsi Run

Static	P-Delta	DAM	Kombinasi dihitung sebagai
X	–	–	Tanpa statik (hanya modal): tanpa gaya dalam, reaksi, envelope, desain
✓	X	X	Linear, superposisi load case
✓	✓	X	Orde-2, kekakuan nominal (+ modifier)
✓	✓ (terkunci)	✓	Orde-2 + 0,8 kekakuan baja + notional $0,001 \cdot Y_i$

Batang tarik/tekan-saja membuat kombinasi non-linear meski P-Delta tidak dicentang. Desain baja ASD dengan run orde-2: **R6.7**.

R6. Desain baja SNI 1729:2020

R6.1 Alur

SNI 1729:2020 = AISC 360-16; nomor pasal mengikuti AISC. Metode **LRFD** (ϕR_n) atau **ASD** (R_n/Ω). Mode **cek** (profil sudah ditentukan), bukan pemilihan profil otomatis.

1. Kombinasi: grup bertanda design; bila tidak ada, semua kombinasi kuat (LRFD) atau layan (ASD).
2. Gaya dalam dari hasil run (orde-1, P-Delta atau DAM — [R6.6](#)). Mengubah parameter desain tidak perlu run ulang.
3. **Titik periksa** tiap frame: setiap station, titik $\frac{1}{4}$ di antara station, dan puncak kurva momen di dalam sub-elemen.
4. D/C = rasio terbesar atas semua kombinasi dan titik; batas default 1,0.

R6.2 Parameter dan panjang tak terkekang

Parameter	Default
ϕ lentur / geser / tekan / tarik leleh	0,9
ϕ tarik putus	0,75 (tarik putus tidak dicek)
K global	1
Lx, Ly, Lb	Antara titik kekang dari model (lihat bawah); tanpa titik kekang = panjang frame (dengan offset: panjang lentur)
Cb	Dari diagram momen tiap segmen tak terkekang (F1-1)

Overwrites per frame: rasio Lx, Ly, Lb, Kx, Ky, Cb. Rasio < 1 membagi frame menjadi segmen seragam ratio·L dari node i dan menggantikan titik kekang otomatis; Cb per segmen. Kantilever (Cb = 1, K) diatur manual.

Titik kekang dari model: ujung frame selalu titik kekang. Titik kekang dalam = node pada frame tempat **frame lain bertemu** atau **tumpuan menahan translasi**. Arahnya ($|\cos| \geq 0,3$) terhadap sumbu lokal frame yang dicek:

Arah frame / tumpuan di node	Mengekang
Sepanjang sumbu lokal 2 (mis. tiang di atas balok)	Lx (tekuk sumbu kuat)
Sepanjang sumbu lokal 3 (mis. balok anak ke balok induk)	Ly (tekuk sumbu lemah & torsi) dan Lb (TTL)
Segaris dengan frame	Tidak mengekang

Ujung frame tanpa kekangan apa pun (ujung kantilever, atau frame yang diteruskan frame segaris) diberi catatan: panjang tak terkekang yang menerus ke frame berikutnya harus di-overwrite. Pengekangan oleh pelat rantai tidak dihitung.

Fy/Fu dari material (BJ37: 240/370 MPa). Material baja tanpa Fy → frame "tidak dicek".

R6.3 Kapasitas per profil

Profil	Tekan	Lentur	Geser	Lainnya
WH / I	E3, E7 (web langsing)	F2 (kompak, TTL dengan Cb), F3 (flens tidak kompak), F4/F5 (web tidak kompak/langsing), F6 (sumbu lemah)	G2.1; G2.2 medan tarik bila ada pengaku	J10 opsional
UNP	E4 (tekuk lentur-torsi)	F2 kanal: $c = (h_o/2)\sqrt{I_y/C_w}$; F6 dengan $b = b_f$	G2.1(b), $\phi = 0,9$	eo dan C_w rumus dinding tipis

Profil	Tekan	Lentur	Geser	Lainnya
SHS/RHS	E3, E7	F7 kompak / tidak kompak / langsing; TTL F7.4 hanya RHS sumbu kuat; web langsing F7.3(c)	G4	Torsi H3.1; H3-6 bila $T_r > 0,2T_c$
Pipa	E3, E7-2	F8, momen resultan	G5 dengan L_v dari diagram geser	Torsi H3.1(a)
Siku	E5(a)/(b) + E7, kaki panjang atau pendek	F10 sumbu utama (leleh, TTL F10-4, tekuk lokal kaki), β_w dari integrasi poligon, $C_b = 1$	G3	Interaksi H2
CT	E3, E4-3 (pusat geser di tengah tebal flens), E7	F9 menurut tanda M3 (stem tarik/tekan), sumbu y seperti F6	G3, $k_v = 1,2$	Interaksi H1

Interaksi: H1-1a / H1-1b untuk profil simetris; H2 untuk siku; H3-6 untuk torsi profil tertutup. **Tarik:** leleh penampang bruto saja.

R6.4 Asumsi per profil

- **UNP:** beban lewat pusat geser / batang dikekang puntir (asumsi F2). e_o ditampilkan di laporan; torsi akibat eksentrisitas tidak dihitung.
- **Siku:** tekan E5(a) rangka bidang, E5(b) rangka ruang/kotak; disambung lewat kaki panjang (default) atau kaki pendek ($E5(a)(2) + 4[(b_l/b_s)^2 - 1] \geq 0,95L/r_z$; $E5(b)(2) + 6[(b_l/b_s)^2 - 1] \geq 0,82L/r_z$). Syarat E5: $L_c/r \leq 200$, $b_l/b_s < 1,7$, $b/t \leq 0,71\sqrt{E/F_y}$; bila dilanggar dan siku menerima tekan, frame "tidak dicek". Momen sumbu geometris diproyeksikan konservatif ke sumbu utama: $|M_3 \cdot \cos \theta| + |M_2 \cdot \sin \theta|$.
- **HSS/pipa:** tebal = tebal nominal JIS (tanpa reduksi 0,93t).
- **Profil terbuka (WH/UNP/siku/CT):** torsi H3.3 — tegangan geser St Venant saja ($\tau = T \cdot t/J$ ditambah rasio geser); tegangan normal warping tidak dihitung.
- **Girder berpengaku:** jarak pengaku transversal per frame $\rightarrow$ F13.2, k_v G2.1, medan tarik G2.2 di panel dalam. Bila ukuran pelat pengaku diisi: $G2.3 (b/t)_{st} \leq 0,56\sqrt{E/F_y}$ dan $I_{st} \geq I_{st2} + (I_{st1} - I_{st2})p_w$. Las pengaku tidak dicek.
- **Gaya terpusat J10** (profil I, diaktifkan per frame): reaksi ujung atau juga gaya dalam (loncatan V2). Tanpa pengaku tumpu: leleh lokal web J10.2 dan lipat web J10.3. Dengan sepasang pengaku tumpu: kolom pelat + jalur web 25tw (12tw di ujung), $L_c = 0,75h$, tumpu J7-1, syarat J10.8. J10.1, J10.4–J10.7 tidak dicek (dicatat di Detail).
- **CNP, kanal ringan LC, Z ber-lip** (baja ringan, SNI 7971): tidak didesain.

R6.5 Tidak dicek

Kanal tidak kompak (F2); web I di atas batas F13.2; tarik putus (A_e); las pengaku; J10.1, J10.4–J10.6; tegangan normal warping; siku tekan di luar syarat E5 (Bab H); amplifikasi B1/B2 Lampiran 8 (efek orde-2 hanya lewat P-Delta/DAM).

R6.6 Efek orde-2 dan desain

Run	Gaya dalam	Faktor K	Catatan di laporan
Linear	Orde-1	K global / overwrite	Amplifikasi orde-2 belum diperhitungkan
P-Delta	Orde-2, kekakuan penuh	K global / overwrite	Metode panjang efektif (Lampiran 7)
DAM	Orde-2, 0,8 kekakuan + notional	K = 1 (overwrite K tetap)	Peringatan notional, $\Delta_2/\Delta_1 > 1,7$, beton tanpa modifier

R6.7 ASD

Kekuatan tersedia R_n/Ω (B3.2) dengan Ω tetap dari SNI 1729:

Keadaan batas	Ω
Tarik leleh D2, tekan E, lentur F, geser G (kecuali di bawah), torsi H3, kolom pengaku J4.4	1,67

Keadaan batas	Ω
Geser G2.1(a) profil I gilas, leleh lokal web J10.2	1,50
Lipat web J10.3, tumpu J7	2,00

Kombinasi = kombinasi *service* atau grup desain; interaksi sama dengan LRFD. **Orde-2 dengan ASD (C2.1(4))**: kombinasi service dianalisis pada $1,6 \times$ bebannya lalu hasilnya dibagi 1,6, sehingga amplifikasi orde-2 = tingkat terfaktor; akibatnya lendutan kombinasi service pada run orde-2 sedikit lebih besar dari lendutan layan sebenarnya.

R7. Desain beton SNI 2847:2019

R7.1 Alur dan parameter

SNI 2847:2019 = ACI 318-14 (V_c tanpa faktor ukuran; ϕ dari regangan tarik et antara ϵ_y dan 0,005). Pengecualian joint atap diambil dari ACI 318-19 § 18.7.3.2.

- Mode **desain** (tulangan perlu) untuk balok dan kolom; kolom juga bisa mode **cek** dengan tulangan terpasang.
- Penampang persegi $b \times h$ dan lingkaran D . Frame dengan kemiringan $> 45^\circ$ didesain sebagai **kolom**, selain itu **balok**; bisa di-overwrite. Lingkaran selalu kolom.
- Kombinasi dan titik periksa seperti baja. **Desain memakai penampang utuh**.

Parameter	Default
Sistem rangka	SRPMK (pilihan SRPMB / SRPMM / SRPMK)
ϕ lentur / geser / torsi	0,9 / 0,75 / 0,75
ϕ tekan sengkang ikat / spiral	0,65 / 0,75
ϕ geser HBK	0,85
f_y / f_{yt}	420 / 280 MPa
Selimut balok / kolom	40 mm
Diameter sengkang / tulangan balok / kolom	10 / 19 / 19 mm
Desain balok di muka kolom	Aktif

R7.2 Balok

- **Lentur M3**: tulangan tunggal, rangkap bila perlu ($\epsilon_t \geq 0,005$). $A_{s,min}$ § 9.6.1.2 atau $4/3 A_{s,perlu}$ (§ 9.6.1.3).
- **Geser V2**: $V_c = 0,17V_{fc}' \cdot b_w \cdot d$ dengan pengaruh aksial (§ 22.5.6 / 22.5.7), A_v/s , sengkang minimum § 9.6.3.3.
- **Torsi**: ambang T_{th} , A_t/s , $A_l \geq A_{l,min}$ ($\theta = 45^\circ$), batas penampang § 22.7.7.1; tanpa reduksi torsi kompatibilitas. Opsi *Ignore beam torsion* mendesain balok untuk lentur + geser saja.
- Gaya aksial diabaikan untuk lentur (dilaporkan bila $> 0,1f_c'Ag$); ikut di V_c dan batas torsi.
- **Envelope**: tiap kombinasi dievaluasi di puncak momen kombinasi lain.
- **Muka tumpuan**: desain mulai setengah dimensi kolom dari node (bila aktif). Ujung ber-offset sudah merupakan muka.
- Aturan proporsi: SRPMM § 18.4.2.2, SRPMK § 18.6.3.2 ($A_{s,bawah}$ di ujung $\geq \frac{1}{2} A_{s,atas}$; di mana pun $\geq \frac{1}{4} A_{s,maks}$ ujung), SRPMK § 18.6.3.1 (atas & bawah $\geq \min(A_{s,min}, 4/3 \cdot A_s)$); ρ maks 4 % (SRPMK 2,5 %).
- Tanpa lebar efektif pelat (balok T).

R7.3 Kolom

- **Interaksi P-M2-M3 biaksial** dari kompatibilitas regangan dengan garis netral miring: permukaan satu kuadran dari 17 sudut $\times$ 27 kedalaman c + kutub tarik/tekan. D/C = rasio sepanjang garis dari titik asal ke (P_u , M_{u2} , M_{u3}) terhadap permukaan.
- Batas atas $\phi \cdot 0,80 \cdot P_0$ (sengkang ikat) / $\phi \cdot 0,85 \cdot P_0$ (spiral); tarik murni $\phi \cdot f_y \cdot A_{st}$.
- **ρ perlu** dicari dengan bisection 1–8 % (SRPMK 6 %); tulangan dianggap merata di keliling, jarak pusat ≤ 150 mm (lingkaran: $\lceil 2\pi R/150 \rceil$, minimum 6).
- **Geser V2/V3**: A_{sh}/s untuk SRPMK. Lingkaran: $b_w = D$, $d = 0,8D$; spiral p_s min § 25.7.3.3 / SRPMK § 18.7.5.4.
- **Mode cek** (tulangan terpasang di penampang: diameter, jumlah per sisi atau keliling, spiral): D/C P-M2-M3 dengan tulangan itu; geser dan joint memakai tulangan itu; peringatan bila ρ di luar batas.

- **Kelangsingan:** kolom tak bergoyang (default) diperbesar δ_{ns} (§ 6.6.4.5; batas § 6.2.5, k default 1, $(EI)_{eff} = 0,4E_c I_g / (1 + \beta_{dns})$, C_m , $M_{2,min}$, $\delta \leq 1,4$). Kolom bergoyang dengan $k \cdot l_u / r > 22$ butuh P-Delta (δ_s tidak dibuat).
- Torsi kolom tidak didesain.

R7.4 Tulangan terpasang dan gambar

Dari tulangan perlu dipilih batang, ditulis **4D19 / Ø10-150** (Ø = polos $f_y \leq 280$ MPa, D = ulir).

- **Balok** — tiga zona: tumpuan = $\max(l_n/4, 2h)$ untuk SRPMM/SRPMK dari muka ($\leq l_n/2$), lapangan di antaranya. Batang atas/bawah = luas perlu terbesar + Al torsi $\frac{1}{4}$ atas, $\frac{1}{4}$ bawah ($\frac{1}{4}$ per sisi → batang samping), minimum 2; lapis dengan jarak bersih $\max(25, db)$ — lapis kedua diberi peringatan. Sengkang $s = A_b / \max(A_v/s \text{ per kaki} + A_t/s)$, dibulatkan ke bawah 25 mm, dibatasi $d/2$ ($d/4$ bila $V_s > 0,33\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$), $ph/8 \leq 300$ (torsi), zona tumpuan SRPMK $\min(d/4, 6db, 150) / \text{SRPMM} \min(d/4, 8db, 24ds, 300)$; $s < 50 \rightarrow \text{"Ø10-?"}$ + peringatan.
- **Kolom** — jumlah batang menutup A_s perlu, lalu ditambah di sisi yang paling menurunkan D/C sampai $D/C \leq 1$; D/C dihitung ulang dengan batang terpasang. Sengkang di tiap sudut dan batang berselang (§ 25.7.2.3; SRPMK $h_x \leq 350$). Spasi dalam ℓ_o : SRPMK $\min(b/4, 6db, s_o)$, SRPMM $\min(8db, 24dt, b/2, 300)$; di luar ℓ_o : SRPMK $\min(6db, 150)$, lainnya $\min(16db, 48dt, b)$.
- **Gambar** (Detail): balok — potongan tumpuan dan lapangan, elevasi sengkang; kolom — potongan dan **diagram interaksi P-M** (permukaan desain ϕ dan nominal pada sudut penentu / M3 / M2, titik = semua kombinasi).

R7.5 Desain kapasitas (SRPMM / SRPMK)

Pemeriksaan	SRPMK	SRPMM
Geser balok	$V_e = (M_{pr,i} + M_{pr,j})/l_n + V_g$; M_{pr} dengan 1,25 f_y ; V_g = geser gravitasi balok sederhana. $V_c = 0$ dalam 2h bila $V_p \geq \frac{1}{2}V_e$ dan $P_u < A_g \cdot f'_c / 20$	$\min(\text{geser dari } M_n, \text{ geser dengan gempa} \times 2), \geq V_u \text{ analisis}$
Geser kolom	$V_e = 2M_{pr}/l_u$, dibatasi ΣM_{pr} balok di joint (§ 18.7.6.1.1)	Sama dengan balok
Kolom kuat–balok lemah	$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \cdot \Sigma M_{nb}$ per joint dan bidang (§ 18.7.3.2); joint atap dengan $P_u < A_g \cdot f'_c / 10$ dikecualikan	—
Geser HBK	$V_j = 1,25f_y(A_{s1} + A_{s2}) - V_{col}$; $\phi V_n = 0,85 \cdot \gamma \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j$	—

V_e dihitung hanya pada kombinasi dengan gempa (semua kombinasi bila model tanpa kombinasi gempa). M_{pr} dan M_n dari **tulangan perlu** (tulangan tunggal, tanpa pelat).

R7.6 Efek orde-2

Tanpa P-Delta: gaya orde-1 dengan δ_{ns} untuk kolom langsing tak bergoyang (R7.3). Dengan P-Delta: analisis orde-2 elastis § 6.7 — kekakuan retak diinput lewat modifier; laporan menyatakan apakah semua frame beton memakai penampang retak (R5.3).

R8. Ringkasan batasan, validasi dan verifikasi

R8.1 Asumsi dan batasan utama

Topik	Batasan	Rujukan
Elemen	Frame Euler-Bernoulli tanpa deformasi geser dan warping; pelat hanya penyalur beban (tanpa elemen pelat ber-mesh)	R1.3 , R2.8
Tumpuan	Tanpa tumpuan miring dan tekan-saja	R1.9
Beban	Tanpa momen merata sumbu 2/3, beban suhu $\alpha \cdot \Delta T$, pola beban hidup	R2.1 , R2.4
Gempa	Tanpa torsi tak terduga, cek simpangan antar tingkat dan θ	R3.5
Modal	Kekakuan linear penuh; bresing tarik-saja dianggap aktif	R4.3
Non-linear	Hanya geometri (P-Delta) dan tarik/tekan-saja batas 0; tanpa non-linear material	R5
Beton orde-2	Modifier satu set untuk semua analisis	R5.3
Baja	Tarik putus, B1/B2, warping, J10 sebagian, baja ringan tidak dicek	R6.5
Beton	Tanpa balok T, δ_s bergoyang, torsi kolom, panjang penyaluran/sambungan	R7

R8.2 Validasi

Setiap fitur solver dan desain diuji terhadap solusi tertutup dan hitung tangan, dan fitur utama diperiksa ulang oleh pemeriksa independen yang menulis solver referensi sendiri tanpa melihat kode aplikasi (P-Delta, metode analisis langsung, tarik-saja, end offset, gempa ELF/RS, area penyalur beban, desain baja dan beton). Rujukan teori: Timoshenko & Gere, *Theory of Elastic Stability*; McGuire, Gallagher & Ziemian; AISC 360-16 Commentary; tabel AISC Steel Construction Manual.

R8.3 Verifikasi terhadap program analisis komersial

Hasil analisis dan desain dibandingkan dengan program analisis struktur komersial pada 19 model uji (balok dan portal dengan semua jenis beban, release, rotasi sumbu lokal, diafragma, modal, P-Delta, metode analisis langsung, tarik-saja, end offset, release parsial, desain baja dan beton, balok anak di tengah balok induk, area penyalur beban, pegas tumpuan) serta lewat pertukaran file `.s2k` dua arah. Hasil analisis identik dalam ketelitian angka; selisih desain dijelaskan sampai rumusnya. Rincian, tabel perbandingan, dan daftar fitur yang belum dibandingkan ada di laporan *Verifikasi Analisis EDFs Matrix*; ringkasannya ada di aplikasi pada **Help** → **Legal** → **Verifikasi**.