BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Sistem struktur

Sistem struktur merupakan serangkaian komponen struktur yang memiliki peran dalam menyalurkan atau meneruskan aliran beban yang bekerja, sistem struktur sendiri umumnya terdiri dari elemen struktur penahan beban vertikal atau gravitasi dan beban horizontal atau lateral. Elemen struktur penahan beban vertikal terdiri dari elemen plat lantai, balok, dan kolom, sedangkan elemen penahan beban horizontal atau beban lateral terdiri dari elemen kolom, dan bresing. Plat lantai pada sistem struktur yang direncanakan monolit dengan balok umumnya dimodelkan sebagai elemen diafragma kaku, di mana plat lantai akan mendistribusikan beban lateral kepada komponen pemikul beban lateral. Sebagaimana diatur dalam SNI 1726-2019, sistem yang tidak di detailing secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk kolom kantilever.

2.1.2 Desain Berbasis Kapasitas

Desain Desain kapasitas pada struktur baja merupakan bagian penting dalam evaluasi seismik, bertujuan untuk memastikan sambungan mampu menahan deformasi secara memadai. Hal ini bertujuan agar bangunan dapat menunjukkan perilaku daktail yang terkendali, sehingga tidak mengalami keruntuhan ketika terjadi gempa bumi.

Struktur baja adalah jenis struktur logam yang terdiri dari elemen-elemen baja struktural yang saling terhubung untuk menopang beban dan memberikan kekakuan. Baja sering dipilih dalam konstruksi karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sehingga memungkinkan struktur baja menopang beban besar dengan penggunaan material yang lebih sedikit dibandingkan beton atau batu.

Desain kapasitas menitikberatkan pada pengendalian deformasi di sambungan, memastikan sambungan tersebut memiliki kapasitas yang cukup untuk menghadapi beban gempa.

Tujuan utama desain kapasitas adalah memastikan bangunan dapat berperilaku daktail dengan terkendali, sehingga mampu menghindari keruntuhan pada gempa dengan intensitas tertentu. Sendi plastis diharapkan terbentuk pada elemen disipatif, sementara elemen-elemen non-disipatif pada sambungan harus tetap mampu mentransfer gaya dengan aman meskipun elemen disipatif telah melendut. Elemen disipatif biasanya berupa balok pada sistem rangka penahan momen, namun bisa juga berupa komponen lain seperti pelat ujung. Untuk elemen disipatif, faktor keamanan tidak diterapkan secara langsung..

Syarat-syarat desain berbasis kapasitas umumnya mengacu pada beberapa standar, antara lain:

1. SNI 1728-2020: Standar mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung.
2. SNI 7860-2020: Ketentuan seismik untuk bangunan gedung baja struktural.
3. SNI 1726-2019: Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung.
4. SNI 2847-2019: Standar perencanaan ketahanan gempa untuk Bangunan.
5. SNI 1727-2020 : Beban Minimum untuk perancangan Bangunan gedung dan struktur lain.
6. SNI 1729-2019 : Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.

Standar ini memberikan panduan tentang bagaimana struktur harus dirancang untuk menanggulangi beban gempa dengan mempertimbangkan perilaku inelastik dan elastik dari elemen struktur diantaranya sebagai berikut:

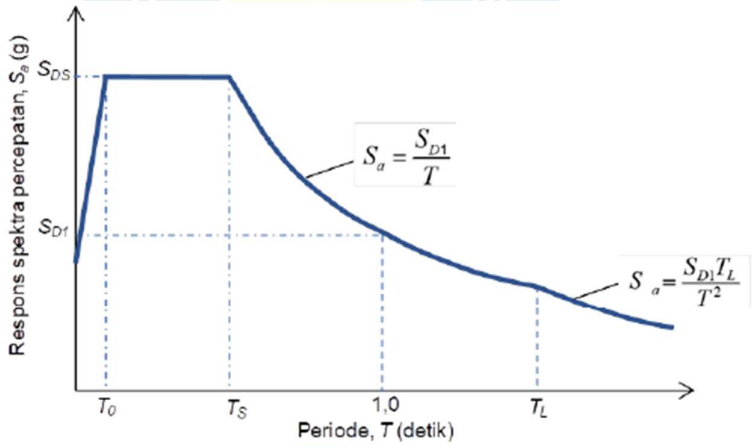
a. Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi secara umum mengacu pada SNI 1727-2020 dimana didalamnya mengatur terkait beban mati dan beban hidup yang

bekerja pada elemen struktur bangunan berdasarkan fungsi pemanfaatannya. Adapun beberapa beban yang tidak ditampilkan secara spesifik didalam SNI 1727-2020.

b. Pembebanan Gempa

Pembebanan Gempa secara umum mengacu pada SNI 1726-2019 dimana pada standar ini secara detail mengatur cara perhitungan beban gempa statik ekivalen dan membuat kurva beban respon spektrum. Pada standar ini juga terdapat peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2017 yang merupakan parameter dalam menentukan nilai percepatan batuan dasar periode pendek (Ss) dan percepatan batuan dasar periode 1 detik (S1). Gaya geser dasar statik dan kurva respon spektrum desain merupakan keluaran yang dapat dihasilkan, yang kemudian akan digunakan dalam model pembebanan.



Gambar 2.1. *Kurva Respon Spektrum Desain*

Sumber : SNI 1726-2019

c. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan merupakan bagian dari pertimbangan bahwa bangunan gedung dan nongedung tidak boleh gagal terlebih dahulu daripada struktur yang ditumpunya sebagai mana diatur dalam pasal 4.2.1 SNI 1726-2019 mengatur terkati faktor kuat lebih dairi beban gravitasi yang akan diterima elemen struktur dan pasal 4.2.2.3 SNI 1726-2019 terkait faktor pengaruh beban seismik terhadap struktur.

d. Ketidakberaturan struktur

Berdasarkan pasal 7.3.3.4 SNI 1726-2019 struktur dengan kategori desain seismik D,E dan F dan mempunyai ketidakberaturan struktur, gaya desain harus dtiingkatkan 25% untuk elemen- elemen pemikul gaya seisimik. Ketidakberaturan struktur sangat erat kaitannya dengan mekanisme penyaluran beban gempa lateral, dimana ketidakberaturan struktur terdiri dari ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal.

e. Partisipasi Massa Ragam Struktur

Pada SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1 dikatakan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Sebagai alternatif yang tersirat dalam pengecualian dikatakan bahwa, analisis diizinkan memasukan jumlah ragam minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau.

f. Perbandingan gaya geser statis dan Dinamik

Berdasarkan pasal 7.9.1.4.SNI 1726-2019 terkait penskalaan gaya, yang menyaratkan bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekivalen yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan nilai V/Vt.

g. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai ditentukan berdasarkan pasal 7.8.6 SNI 1726-2019 yang menyatakan bahwa simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar lantai yang telah ditentukan tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin yang diatur dalam pasal 7.12.1 SNI 1726-2019 tabel 20 berdasarkan kategori resiko.

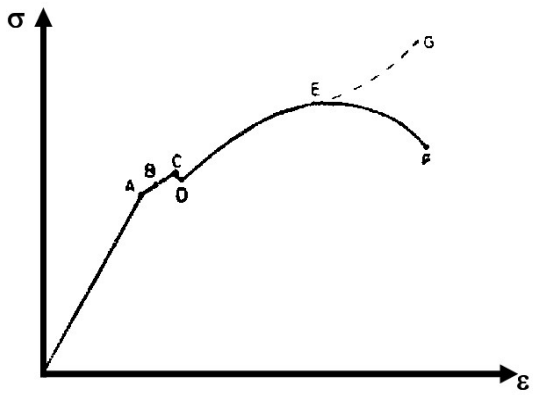
h. Stabilitas Struktur Terhadap P-Delta

Pada pasal 7.8.7 SNI 1726-2019 pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan

simpangan antar tingkat yang diakibatkan tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas kurang dari 0,10. Koefisien stabilitas tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum, apabila melebihi maka struktur harus didesain ulang. Jika koefisien stabilitas diatara 0,10 dan koefisien stabilitas maksimum maka perlu dilakukan analisis rasional terhadap perpindahan dan gaya komponen struktur.

2.1.3 Teori Desain Struktur baja

Sifat mekanis baja sangat penting dalam desain konstruksi dan diperoleh melalui uji tarik baja. Uji ini melibatkan pembebanan tarik pada sampel baja, di mana beban dan perubahan panjangnya dicatat untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan.



Gambar 2.2 Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ε)

Pada Gambar 2.2 Diagram Tegangan-Regangan dijelaskan pada keterangan sebagai berikut:

Keterangan:

- A : Batas proporsional
- B : Batas elastis
- C : Titik mulur
- D (σ_y) : Tegangan luluh
- E (σ_u) : Tegangan tarik maksimum
- F : Putus

Dari diagram tegangan-regangan pada Gambar 1 di atas, terdapat tiga daerah kerja berikut:

- ❖ Daerah elastis: Digunakan dalam desain konstruksi mesin, di mana material akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan.
- ❖ Daerah plastis: Digunakan untuk proses pembentukan material, di mana deformasi permanen terjadi tanpa kerusakan material.
- ❖ Daerah maksimum : Digunakan dalam proses pemotongan material, yang berada di sekitar titik putus ketika material tidak lagi mampu menahan beban tambahan.

Berdasarkan grafik tersebut, ada beberapa alasan penulis menerapkan metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) dalam penyusunan Tesis ini, yaitu:

1. Rasionalitas LRFD: LRFD menarik perhatian karena menawarkan penggunaan material yang lebih ekonomis dan optimal untuk berbagai kombinasi beban dan konfigurasi struktural. Selain itu, LRFD cenderung menghasilkan struktur yang lebih aman dibandingkan metode ASD (Allowable Stress Design) karena lebih efektif dalam menggabungkan beban hidup dan mati serta memperlakukan keduanya dengan cara yang tepat.
2. Kemudahan Integrasi Informasi Baru: LRFD mempermudah integrasi informasi baru terkait beban dan variasinya ketika data tersebut tersedia. Dengan memisahkan pembebanan dari kapasitas resistensi, memungkinkan pembaruan salah satu aspek tanpa harus mengubah aspek lainnya.
3. Fleksibilitas Pengubahan Faktor: Perubahan pada faktor kelebihan beban dan faktor resistensi lebih mudah diterapkan dalam LRFD dibandingkan mengubah tegangan izin dalam metode ASD.
4. Konsistensi dalam Berbagai Material: LRFD memungkinkan desain material yang beragam untuk lebih mudah diintegrasikan. Variasi beban yang sesungguhnya tidak berkaitan langsung dengan jenis

material yang digunakan dalam desain, sehingga LRFD memberikan fleksibilitas dalam pendekatan desain lintas material.

2.1.4 Load and Resistance Factor Design – LRFD

SNI 03-1729-2019 menggabungkan perhitungan kekuatan batas (ultimate) dengan kriteria kemampuan layan serta teori probabilitas untuk keselamatan, yang dikenal dengan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD). Dalam metode LRFD, terdapat beberapa prosedur perencanaan yang biasa disebut perancangan kekuatan batas, perancangan plastis, perancangan limit, atau perancangan keruntuhan (collapse design).

LRFD berlandaskan pada filosofi kondisi batas (limit state), yaitu kondisi di mana suatu struktur atau bagiannya tidak lagi dapat berfungsi dengan baik. Ada dua kategori kondisi batas ini, yaitu:

1. Batas kekuatan: Mengacu pada kapasitas maksimum struktur sebelum mengalami kegagalan.
2. Batas layan (serviceability): Mengacu pada kondisi struktur yang mempengaruhi kinerja atau kenyamanan pengguna, tanpa melibatkan kegagalan struktural.

Kondisi kekuatan batas (strength limit state) didasarkan pada aspek keamanan atau kapasitas daya dukung struktur, mencakup kekuatan plastis, tekuk (buckling), kehancuran, fatik, guling, dan lainnya. Sementara itu, kondisi batas layan (serviceability limit state) berkaitan dengan performa struktur di bawah beban normal serta kenyamanan penghuninya, seperti defleksi berlebihan, gelincir, getaran, retak, dan penurunan kualitas (deteriorasi).

Struktur tidak hanya harus mampu menahan beban rencana atau ultimate, tetapi juga harus memenuhi beban servis yang diperlukan untuk kenyamanan pengguna. Misalnya, gedung tinggi perlu dirancang agar goyangan akibat angin tidak menyebabkan ketidaknyamanan, ketakutan, atau mual pada penghuninya. Dari sudut pandang kondisi batas kekuatan,

rangka gedung harus dirancang agar aman terhadap beban ultimate dari angin besar dalam periode 50 tahun, meskipun mungkin akan ada kerusakan kecil atau ketidaknyamanan sementara bagi pengguna.

2.1.5 Faktor Beban

Tujuan dari faktor beban adalah untuk meningkatkan nilai beban sebagai langkah untuk mengatasi ketidakpastian dalam menghitung beban mati dan beban hidup. Misalnya, seberapa akurat Anda dapat menghitung beban angin yang bekerja pada gedung perkuliahan atau Kantor? Faktor beban ini memperhitungkan variabilitas dan ketidakpastian yang melekat pada estimasi beban lingkungan dan penggunaan, memberikan cadangan keamanan tambahan dalam perancangan struktur.

Nilai faktor beban untuk beban mati lebih rendah dibandingkan dengan beban hidup karena perancang dapat memperkirakan besar beban mati dengan lebih akurat. Beban mati, yang biasanya tetap berada di tempat dalam jangka waktu lama, cenderung memiliki variasi kecil. Sebaliknya, beban hidup, yang terjadi dalam waktu relatif singkat, memiliki variasi yang lebih besar. Metode "LRFD" membuat perancang lebih sadar akan variasi beban yang akan bekerja pada struktur, dibandingkan jika menggunakan metode perancangan tegangan izin (Allowable Stress Design – ASD).

Kombinasi beban berikut ini mengacu pada Pasal 6.2.2 SNI 03-1729-2019, dengan variabel beban sebagai berikut:

D = Beban mati, yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, seperti dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.

L = Beban hidup, mencakup beban dari pengguna gedung dan beban bergerak, termasuk beban kejut tetapi tidak termasuk beban lingkungan (seperti angin atau hujan).

La = Beban hidup atap yang timbul selama perawatan oleh pekerja atau material, atau penggunaan normal.

H = Beban hujan, tidak termasuk genangan (ponding).

E = Beban gempa, sesuai dengan ketentuan SNI 03-1726-2019 atau yang terbaru.

U = Beban ultimate.

Kombinasi beban dalam desain ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk kombinasi tanpa beban angin dan gempa:
   - U = 1,4D
   - U = 1,2D + 1,6L + 0,5(La atau H)

   (Beban kejut hanya dipertimbangkan pada kombinasi beban kedua di atas.)

2. Untuk kombinasi dengan beban angin dan gempa:
   - U = 1,2D + 1,6(La atau H) + (0,5L atau 0,8W)
   - U = 1,2D + 1,3W + 0,5L + 0,5(Lr atau H)
   - U = 1,2D ± 1,0E + 0,5L)

   Pada kombinasi di atas, beban kejut hanya dipertimbangkan pada persamaan pertama.

3. Untuk gedung garasi, gedung umum, atau bangunan dengan beban hidup melebihi 5 kPa (500 kg/m²), faktor beban L pada semua persamaan menjadi 1,0, sehingga kombinasi beban menjadi:
   - U = 1,2D + 1,6(Lr atau H) + (1,0L atau 0,8W)
   - U = 1,2D + 1,3W + 1,0L + (0,5 Lr atau H)
   - U = 1,2D 1,0E + 1,0L

Untuk memperhitungkan kemungkinan adanya gaya ke atas (uplift), LRFD memberikan kombinasi beban khusus. Kondisi ini penting dalam kasus di mana gaya tarik muncul akibat momen guling, yang biasanya terjadi pada gedung bertingkat tinggi dengan gaya lateral yang besar. Dalam kombinasi beban ini, beban mati (D) direduksi sebesar 10% untuk menghindari estimasi berlebih (overestimate).

Pada kombinasi ini, gaya angin (W) dan gempa (E) dapat memiliki tanda positif atau negatif, yang hanya perlu diperhitungkan dalam persamaan berikut. Perbedaannya adalah, pada kombinasi sebelumnya, tanda untuk W dan E harus disesuaikan dengan suku lain dalam persamaan tersebut, baik itu tanda positif atau negatif, tergantung pada arah dan efek beban yang bekerja.

Dimana tanda positif atau negatif pada E dan W harus dipilih sesuai dengan kondisi yang berlaku pada struktur, untuk mencerminkan gaya tarik atau tekan yang muncul pada struktur akibat momen guling atau gaya lateral besar.

Kombinasi beban untuk memperhitungkan gaya ke atas (uplift) dalam LRFD diatur oleh persamaan:

U = 0,9D (1,3W atau 1,0E)

Di mana:

- D adalah beban mati,
- W adalah beban angin,
- E adalah beban gempa,
- Tanda ± menunjukkan bahwa beban angin dan gempa bisa memiliki arah yang berlawanan, tergantung pada kondisi struktural dan arah gaya yang bekerja.

Besar beban seperti D, L, La, dan lainnya harus mengacu pada peraturan muatan yang berlaku sesuai dengan standar desain yang relevan. Misalnya, beban hidup rencana untuk lantai yang luas atau bangunan bertingkat tinggi dapat direduksi untuk memperhitungkan pengaruh beban yang bervariasi atau penggunaan yang tidak konstan sepanjang waktu.

Pengurangan ini penting untuk memastikan bahwa perhitungan beban tetap konservatif namun realistis, mengingat beban hidup pada beberapa jenis bangunan atau lantai bisa bervariasi atau lebih rendah dari perkiraan beban penuh.

2.1.6 Pengaruh respon seismik terhadap sistem struktur baja diagrid

Pada penelitian Moghaddasi dan Zhang menganalisis perilaku seismik struktur diagrid yang dilengkapi dengan perangkat sekering penghubung geser. Mereka melakukan analisis nonlinier untuk membuktikan efektivitas sistem yang diusulkan dalam mengurangi perpindahan sisa setelah terjadinya gempa kuat (Moghaddasi dan Zhang, 2013). Ramadhan dan Barbosa mengusulkan penggunaan peredam massa gesekan untuk meningkatkan kinerja seismik struktur diagrid. Berdasarkan penelitian

mereka, peredam yang diusulkan mampu mengurangi gaya geser dasar maksimum hingga 30% dan mengurangi rasio pergeseran antar lantai sebesar 17,5%. (Ramadhan dan Barbosa, 2014). Milana dan rekan-rekan menyelidiki kapasitas akhir sistem diagrid dengan melakukan analisis pushover serta mengevaluasi berbagai faktor seperti kekuatan, kekakuan, duktilitas, dan berat (Milana dkk., 2020). Mereka meneliti beberapa skenario kerusakan dan menyimpulkan bahwa kapasitas residual dari model struktural yang rusak umumnya memuaskan. Penelitian oleh Asadi dan rekan-rekan menunjukkan bahwa sistem struktural diagrid memiliki kapasitas cadangan yang signifikan terhadap keruntuhan, sehingga mengurangi kehilangan elemen struktural yang diperkirakan (Asadi dkk., 2018). Penelitian lain melaporkan bahwa sistem struktural diagrid merupakan sistem penahan gaya seismik yang efisien, andal, dan ekonomis untuk bangunan bertingkat menengah (Asadi dan Adeli, 2018a). Seyedkazemi dan Seraji mengusulkan sistem diagrid lapis ganda dan mengembangkan persamaan yang berkaitan dengan kekakuan lateralnya. Evaluasi kinerja seismik sistem diagrid baja lapis ganda menunjukkan bahwa sistem ini memiliki keunggulan dalam hal kekakuan dan kekuatan dibandingkan dengan sistem diagrid konvensional (Seyedkazemi dan Seraji, 2019).

Di sisi lain, Baker dkk. (2010) menyarankan metode untuk menghitung parameter desain diagrid dengan mempelajari beberapa model. Mereka menggunakan perangkat lunak Perform 3-D untuk melakukan analisis statis dan dinamis nonlinier. Berdasarkan penelitian mereka, faktor modifikasi respons (faktor R) ditetapkan sebesar 3,64 untuk struktur diagrid tertentu, sedikit lebih besar dari nilai 3 yang disarankan oleh ketentuan ASCE/SEI 7-16 di bawah kategori "Sistem baja yang tidak secara spesifik dirinci untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever" (ASCE/SEI 7-16, 2016). Lee dkk. mengusulkan pendekatan analitis berdasarkan metode mutakhir dan praktik terkini untuk menentukan faktor R pada sistem dia-grid baja. Studi mereka, yang dilakukan pada bangunan diagrid 8 lantai, menunjukkan faktor R sebesar 3,75 (Lee dkk., 2016).

Dalam beberapa tahun terakhir, pedoman FEMA P-695 (2009) telah digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi faktor kinerja seismik (SPF) dari sistem diagrid baja (Sadeghi dan Rofooei, 2018; Asadi dan Adeli, 2018b; Lee et al., 2018; Heshmati dan Agha-kouchak, 2019; Sohrabi-Haghighat dan Ashtari, 2019). Menurut penelitian Sadeghi dan Rofooei, faktor R untuk struktur diagrid baja dengan rasio aspek H/B kurang dari atau sama dengan 1,5 berkisar antara 1,5 hingga 3, dengan nilai yang bergantung pada sudut anggota diagonal. Dalam penelitian oleh Asadi dan Adeli, faktor R untuk diagrid baja bertingkat rendah hingga menengah Bangunan dengan kurang dari 8 lantai dilaporkan memiliki faktor R yang berkisar antara 3,5 hingga 4. Dalam penelitian mereka, model planar OpenSees digunakan untuk melakukan analisis riwayat waktu nonlinier. Dalam penelitian oleh Lee dkk., validitas faktor R sebesar 3,0 yang digunakan dalam desain bangunan diagrid baja aksisimetris dengan denah melingkar dikonfirmasi.

Penelitian oleh Heshmati dan Agha-kouchak menunjukkan bahwa model diagrid baja yang dirancang dengan faktor R sebesar 4,5 memenuhi kriteria penerimaan FEMA P-695. Mereka menggunakan dua indikator, yaitu rasio pergeseran antar lantai dan tangen lokal dari kurva analisis dinamis inkremental (IDA), untuk mengevaluasi kapasitas keruntuhan model diagrid. Dalam analisis ini, mereka mengabaikan kriteria non-konvergensi numerik yang mungkin terjadi akibat tekuk pada sejumlah besar anggota diagonal.

William Baker (2010) memberikan kontribusi penting dalam desain seismik gedung diagrid dengan mengembangkan koefisien modifikasi respon khusus untuk struktur diagrid. Hal ini diperlukan karena peraturan yang ada belum mencakup sistem struktur diagrid, sehingga analisis membutuhkan pertimbangan perencana (engineering judgement). Kondisi ini menunjukkan perlunya parameter desain seismik yang dirancang khusus untuk struktur diagrid agar analisis seismik dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Ada tiga parameter kunci yang secara signifikan mempengaruhi analisis desain seismik struktur, yaitu R (faktor respon struktur), Cd (koefisien amplifikasi defleksi), dan Ω (faktor kuat lebih sistem).

Nilai R mewakili kemampuan sistem struktur untuk menahan beban lateral. Nilai R berkisar antara 1,5 hingga 9, di mana nilai rendah menunjukkan struktur yang getas (brittle) dan kaku (stiff), sementara nilai tinggi menunjukkan struktur yang daktail dengan kemampuan menyerap energi melalui fleksibilitas bangunan. Nilai R yang rendah menghasilkan beban lateral yang besar karena struktur getas hanya sedikit menyerap energi, sehingga harus menahan gaya langsung. Sebaliknya, nilai R yang tinggi menghasilkan beban lateral yang lebih kecil karena sistem lebih efisien dalam menyerap energi dan mendistribusikan beban dalam kondisi ekstrim.

Faktor kuat lebih sistem (Ω) menunjukkan kekuatan sisa dalam struktur setelah pelelehan terjadi. Faktor ini mencerminkan kekakuan dan kapasitas struktur untuk mendistribusikan kembali beban yang datang.

William Baker (2010), dalam tulisannya yang berjudul "*Proposed Methodology to Determine Seismic Performance Factors for Steel Diagrid Framing System*", mengusulkan proses iteratif untuk menentukan nilai R pada struktur diagrid. Analisis dilakukan pada 300 model diagrid dengan variasi geometri dan konfigurasi struktur, termasuk variasi rasio aspek gedung (H/B), kemiringan batang diagonal, kapasitas penyerapan energi, interaksi aksial-lentur setelah tekuk, serta sistem redundansi. Melalui evaluasi performa berdasarkan metode ATC 63 dan FEMA 450, diperoleh nilai R sebesar 3,64. Nilai ini sedikit lebih tinggi dibandingkan sistem penahan gaya seismik untuk baja yang tidak dirancang khusus untuk ketahanan seismik, yaitu R = 3, seperti tercantum dalam SNI 1726-2019 Tabel 12 untuk sistem tanpa kolom kantilever.

Pada penelitian ini sistem struktur baja diagrid diasusmsikan berada pada zona seismik tinggi dan parameter percepatan spektra desain pada periode pendek (SDS) dan periode 1 detik, (SD1) di lokasi DIY. Yogyakarta dengan klasafikasi jenis tanah Sedang (SD), berdasarkan metode FEMA

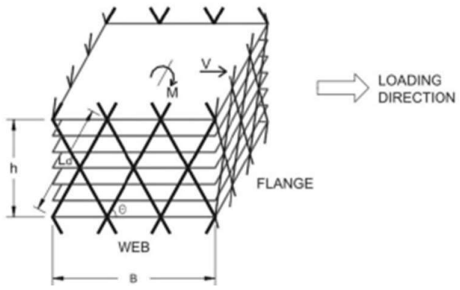
P-695 (2009) faktor modifikasi respon awal R = 3 dipertimbangkan. Akan di bandingkan desain awal dengan FEMA P-695 (2009) untuk mendapatkan hasil yang aktual.

2.1.7 Pengaruh beban lateral terhadap *buckling* struktur baja diagrid

Pendekatan berbasis kekakuan yang disederhanakan untuk desain awal sistem diagrid pertama kali diusulkan oleh (Moon dkk., 2007). Pendekatan ini berfokus pada evaluasi kekakuan geser dan lentur modul diagrid, dengan tujuan mengurangi defleksi lateral pada struktur. Dalam model ini, bangunan diperlakukan sebagai balok kantilever vertikal yang tertanam di tanah dan dikenai beban lateral, sehingga menghasilkan perpindahan horizontal yang bergantung pada kekakuan struktur tubular diagrid.

Untuk keperluan desain awal, kontribusi inti internal terhadap kekakuan lateral bangunan diabaikan, karena inti tersebut hanya dirancang untuk menahan beban gravitasi.

Modul diagrid dasar ditunjukkan pada Gambar 2.3. Modul diagrid ini mencakup ketinggian ‘h’ dengan dua elemen segitiga. Panjang diagonalnya adalah Ld, dan kemiringannya terhadap bidang horizontal adalah v. Tergantung pada arah pembebanan, setiap fasad dapat berfungsi sebagai web atau flens. Vi dan Mi adalah gaya geser dan momen lentur yang bekerja pada level i. Gaya-gaya ini ditahan oleh diagonal web dan flens, masing-masing. Diasumsikan bahwa diagonal terjepit di ujungnya, sehingga hanya memikul gaya aksial dan tetap dalam kondisi elastis linier. Dengan demikian, luas penampang dari anggota web dan flens menjadi satu-satunya faktor yang perlu dihitung untuk menyelesaikan desain awal.



Gambar 2.3 Modul sistem baja diagrid

Pada gambar diatas (Scaramozzino, Lacidogna, and Carpinteri 2020) menjelaskan pada penelitian (Montuori et al. 2016). Asusmsi bahwa inti internal menempati 25% dari luasan lantai, struktur baja diagrid memiliki 37,5% dari beban gravitasi pada modul ke m. Pada (QM) kondisi pembebanan vertikal menghasilkan keadaan kompresi seragam di semua diagonal, Beban lateral menghasilkan momen lentur (Mm) dan gaya geser (Vm) pada tingkat modul. Momen lentur tersebut menyebabkan adanya kompresi seragam pada diagonal sisi bawah angin, tegangan seragam pada sisi atas angin, dan distribusi linier gaya aksial tegangan-kompresi pada elemen jaring, yang bervariasi tergantung pada jarak (di) dari titik ekspresi gaya aksial diagonal dari tengah lantai sebalikanya, gaya geser hanya menyebabkan tegangan-tegangan kompresi pada diagonal jaring menjadi arah horizontal.

Batang diagonal baja diagrid sudah banyak di telih oleh beberapa ahli Sejumlah peneliti telah mengkaji diagrid dengan sudut diagonal yang bervariasi dari bawah ke atas bangunan. Zhang dan rekan-rekannya mengusulkan bahwa performa diagrid dapat ditingkatkan secara signifikan dengan memilih sudut kemiringan yang lebih landai di bagian atas bangunan dan lebih curam di bagian bawah (Zhank dkk. 2019).

Dalam penelitian ini untuk menentukan tekuk struktur baja diagrid perlu di evaluasi perilaku anggota diagonal pascatekuk diluar bidang untuk diperhitungkan dalam analisis pemodelan struktur diagrid.

2.2 Pembagian kekuatan Struktur baja diagirid dengan Rangka Utama

Pada dasarnya untuk struktur baja diagrid bahwa pembagian kekuatan berdasarkan acuan SNI 1726:2019, Pada sistem struktur ganda, fungsi utamanya adalah untuk menggabungkan kinerja dua sistem struktur berbeda, yaitu rangka pemikul momen dan rangka bresing, sehingga tercapai kestabilan dan ketahanan terhadap beban lateral seperti gaya seismik.

Persyaratan Sistem Ganda:

1. Kapasitas Rangka Pemikul Momen:

a. Rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25% dari gaya seismik desain.
b. Ini memastikan bahwa rangka pemikul momen tetap memberikan kontribusi signifikan terhadap kestabilan struktur, bahkan jika rangka bresing mengambil sebagian besar beban lateral.

2. Distribusi Gaya Seismik Total:
   a. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing.
   b. Pembagian gaya ini dilakukan secara proporsional terhadap kekakuan masing-masing elemen struktur.
      1. rangka bresing biasanya menangani bagian terbesar gaya lateral karena memiliki kekakuan yang lebih tinggi.
      2. Rangka pemikul momen tetap memberikan fleksibilitas dan membantu mengurangi deformasi berlebih.

Keunggulan Sistem Ganda:

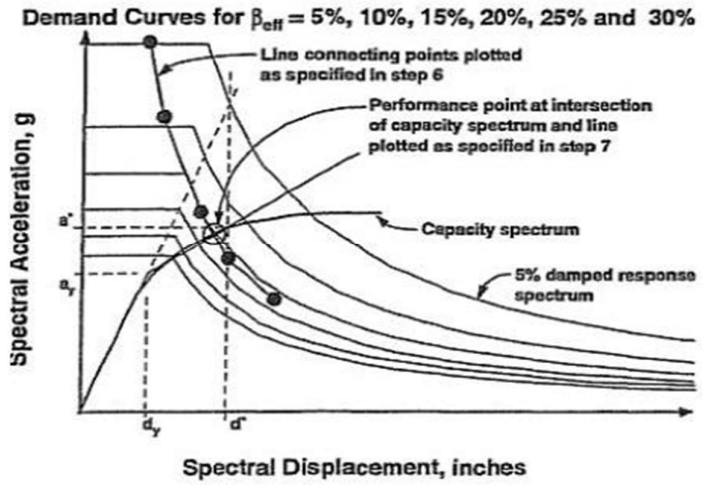
1. Efisiensi Kekuatan: Kombinasi dua sistem memastikan bahwa beban lateral didistribusikan secara optimal sesuai dengan kekakuan masing-masing komponen.
2. Redundansi: Jika salah satu elemen mengalami kerusakan, elemen lainnya dapat memberikan dukungan tambahan untuk menghindari keruntuhan total.
3. Pengendalian Deformasi: Sistem ini membantu mengurangi deformasi lateral secara signifikan, menjadikan struktur lebih stabil terhadap gempa besar.

2.3 Analisis nonlinear *(Pushover)*

Analisis *pushover* adalah sautu analisis yang tercantum kedalam konsep perencanaan berbasis kinerja. Hasil analsis ini didapatkan dengan memberikan beban statik lateral dengan nilai beban yang ditingkatkan secara bertahap sehingga dapat mencapai nilai simpangan struktur yang diharapkan atau bahkan struktur mengalami keruntuhan.

Hasil yang didaptkan dari analisis tersebut adalah gaya geser dasar (base shear) dan simpangan (displacement). Nilai-nilai ini divisualisasikan kedalam

kurva kapasitas untuk dapat memberikan gambaran dan perilaku struktur. Hasil dari analsis ini dapat mengaktegorikan tingkat kinerja struktur berdasarkan pada titik performa (performance point) yang diperoleh dari titk temu antara kurva reduce deman dan spectrum capacity, selain itu juga dapat menujukan elemen yang menngalami kerusakan.



Gambar 2.4 Titik Performa

2.3.1 Statik *Pushover*

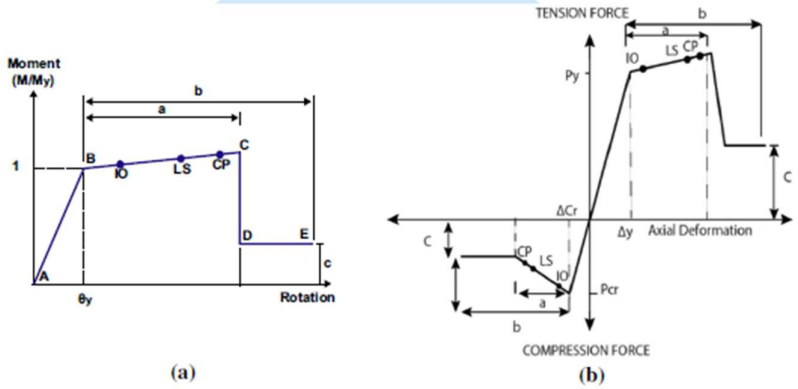
Analisis *pushover* dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pembebanan awal dan pembebanan lateral. Dalam proses ini, beban statik ditingkatkan secara bertahap hingga melebihi batas beban yang dapat memicu terjadinya pelelehan pertama (sendi plastis) pada struktur gedung. Elemen-elemen struktur gedung, seperti balok, kolom, dan elemen diagrid, dimodelkan secara inelastik dengan menggunakan perangkat lunak ETABS V20, yang menghubungkan gaya dan deformasi elemen-elemen tersebut. Analisis statik pushover dilakukan dengan mempertimbangkan satu arah, yaitu arah-X, karena dalam penelitian ini gedung memiliki model yang simetris pada arah X dan Y.

Untuk mengevaluasi kelebihan kekuatan dan daktilitas bangunan diagrid dalam menghadapi beban seismik, analisis pushover dilakukan dengan menetapkan engsel plastik aksial pada elemen diagonal sesuai

dengan model yang diusulkan oleh ASCE 41-13 untuk rangka penguat konsentris

2.3.2 Pemodelan Sendi Plastis

Penentuan sendi plastis dilakukan secara otomatis oleh program ETABS v19 menggunakan metode ASCE 41-13. Oleh karena itu, pengguna hanya perlu memasukkan data beban yang diterapkan, seperti P, M3, dan P-M2-M3. Pada Gambar 5, ditampilkan grafik hubungan gaya-deformasi secara umum berdasarkan metode ASCE 41-13. Grafik ini menggambarkan perilaku elemen struktur ketika mengalami deformasi, yang digunakan untuk memprediksi kinerja struktur selama proses pelelehan hingga kegagalan.



Gambar 2.5 Hubungan gaya-deformasi nonlinear member struktur. a. Frame lentur, b. bresing

Sumber : ASCE 41-13

Keterangan pada gambar 2.6 sebagai berikut:

A = Kondisi dimana belum ada pembebanan sehingga belum terjadi palstifikasi pada sendi plastis

B = Kondisi dimana elemen mulai mengalami leleh untuk pertama kali

IO = Immediate Occupancy, Terjadi Kerusakan ringan runtuh struktur

LS = Life Safety, terjadi kerusakan sedang pada struktur namun belum berpotensi runtuh

CP = Collapse Prevention, terjadinya retakan pada struktur

C = Kondisi mencapai kapasitas ultimit dari elemen

D = Merupakan kondisi dimana hanya terdapat kekuatan sisa dari elelemen struktur

E = Merupakan batas diamana elemen sudah mengalami keruntuhan

2.3.3 *Pushover Analysis* Metode ASCE 41-13 NSP

Metode perpindahan ASCE 41-13 NSP memungkinkan untuk menhitung numerik langsung dari perpindahan keseluruhan maksimum dalam suatu struktur. Langkah ini dapat diakukan dengan mengganti respon elastis sistem SDOF Ekuivalen dengan faktor koefesien Co, C1, C2, dan C3 sehingga didapatkan total perpindahan maksimum (elastik dan inelastik) yang disebut dengan target perpindahan.

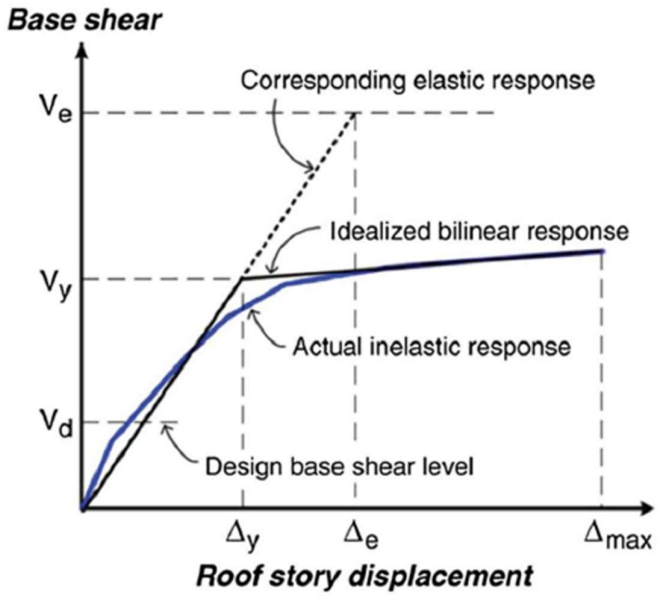
Tabel 2.1 Batasan Deformasi untuk Tingkat kinerja struktur ATC-40

Interstory Drift Limit	*Performance Level*			
	Immediate Occupancy	*Demage Control*	*Life Safety*	*Structural Stability*
Maximum Total Drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,3 Vi/Pi
Maximum Inelastic Drift	0,005	0,005 – 0,015	*No. Lomit*	*No. Lomit*

2.3.4 Evaluasi Nolai faktor R, Ωo dan Cd Aktual

Dalam mengevaluasi Nilai faktor modifikasi respons R, Ωo dan Cd yang aktual, Peneliti menggunakan metode FEMA P-695 (2009), untuk mengukur faktor kinerja seismik dari sistem struktur baru. Metode ini konsisten dengan dengan definisi SPF dalam ketentuan yang direkomendasikan NEFRP (FEMA 450-2004). Pada gambar 2.6 menggambarkan faktor kiner seismik yang didefinisikan oleh metodelogi

FEMA P-695 (2009) dan hubunganya dengan gerakan tanah kuat gempa bumi yang dipertimbangkan maksimum (MCE). Gambar 2.6 mendefinisikan hasil dan keadaan akhir dalam prosedur FEMA P-695 berdasarkan beban keruntuhan.



Gambar 2.6 Hubungan Beban Lateral-Perpindahan atap (Kim and Choi, 2005)
Sumber : (Fayas R. Rofoi and Ali Seedkazemi, 2020)

Faktor modifikasi seismik berdasarkan metode FEMA P-695 (2009) dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

- Modifikasi Respon

$$R = \frac{S_{MT}}{1{,}5\ C_S} = \frac{V_E}{V} \quad (2.7)$$

Keterangan:

S_{MT} = Percepatan Spektral
Cs = Koefesien Respon Seismik
V_E = Gaya gempa saat elastik penuh (R=1)
V = Gaya geser desain

- Faktor kuat lebih

Faktor kuat lebih (Ω_0) ditentukan berdasarkan nilai rata-rata terbesar dari faktor kuat lebih yang dihitung pada setiap kelompok kinerja. Keberadaan Ω_0 memastikan struktur tetap aman meskipun terkena getaran yang kuat. Semakin besar nilai Ω_0, semakin besar pula kemampuan struktur dalam menahan gaya gempa, sehingga memastikan semua elemen struktur dapat mencapai kondisi pelelehan. Nilai Ω_0 digunakan untuk memperbesar gaya-gaya yang diteruskan dari struktur atas ke struktur bawah dalam perancangan basement atau fondasi. Tujuan utamanya adalah memastikan bahwa struktur bawah tidak mengalami kegagalan lebih awal dibandingkan dengan struktur di atasnya.

$$\Omega o = \frac{S_{max}}{C_s} = \frac{V_{max}}{V} \quad (2.8)$$

Keterangan:

V_{max} = Gaya geser maksimum saat saat mengalami pelelehan

V = Gaya geser desain

- Koefesien amplifikasi defleksi

  Faktor pembesaran defleksi (*Cd*) menggambarkan kemampuan struktur untuk mengalami deformasi saat menerima beban gempa (Tavio & Wijaya, 2018). Dalam desain seismik, *Cd* digunakan untuk memperkirakan simpangan maksimum atap atau tingkat simpangan maksimum yang mungkin terjadi selama gempa besar. Hal ini dilakukan dengan memperbesar nilai simpangan yang diperoleh dari analisis elastis pada tingkat gaya seismik desain menggunakan faktor *Cd*.

  $$\text{Cd } \mu_T = \frac{\delta_u}{\delta_{y,eff}} \quad (2.9)$$

  Dimana Smax merupakan kekuatan maksimum dari sistem yang menghasilkan penuh (dinormalisasi oleh W), Vmax merupakan gaya geser maksimum dari sistem yang menghasilkan penuh, δu adalah perpindahan atap maksimum yang didefinisikan sebagai perpindahan

atap yang sesuai dengan kehilangan 20% kekuatan maksimum (0,8 Vmax), $\delta_{y,eff}$ adalah perpindahan atap hasil efektif.

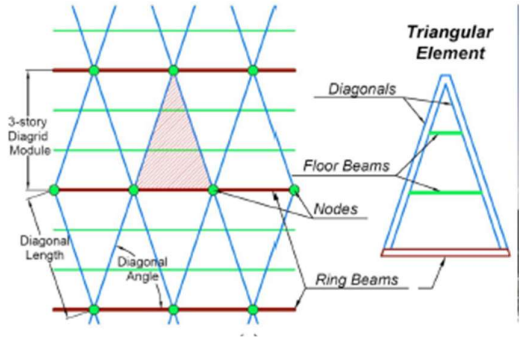
2.4 Penjelasan tentang sistem struktur baja Diagrid

Diagrid adalah singkatan dari diagonal dan grid, yang mengacu pada sistem struktur, umumnya terbuat dari baja, yang membentuk pola segitiga dengan elemen penopang diagonal (Boake, 2014). Struktur diagrid merupakan salah satu jenis sistem bracing dengan kolom berbentuk diagonal. Pada intinya, diagrid bekerja berdasarkan prinsip rangka batang, di mana elemen-elemen diagonal menciptakan sudut yang membentuk pola segitiga. Pola ini memungkinkan struktur untuk menahan beban lateral dan beban gravitasi (Wirawan, 2020).

Perbedaan utama antara struktur eksterior braced frame konvensional dan struktur diagrid terletak pada penghapusan hampir semua kolom vertikal konvensional pada diagrid. Hal ini dapat dilakukan karena batang diagonal pada diagrid mampu menopang baik beban gravitasi maupun beban lateral melalui konfigurasi segitiga, sedangkan diagonal pada braced frame konvensional hanya berfungsi untuk menopang beban lateral. Jika dibandingkan dengan struktur tubular konvensional tanpa elemen diagonal, diagrid lebih efisien dalam mengurangi deformasi geser (shear) karena mendistribusikan beban lateral melalui aksi aksial pada batang diagonalnya, sementara struktur tubular konvensional menahan geser melalui gaya lentur pada kolom vertikalnya.

Pada struktur diagrid, sebagian besar beban lateral ditahan oleh batang diagonal yang terdapat di rangka eksterior diagrid lihat pada (Gambar 2.7), sedangkan beban gravitasi ditopang oleh rangka interior bangunan. Elemen horizontal yang terhubung dengan elemen segitiga (triangulated elements) ditambahkan untuk mencegah buckling yang disebabkan oleh perbedaan beban yang ditopang. Pelat lantai yang terhubung dengan batang diagonal akan mentransfer beban gravitasi ke batang diagonal, dan beban tersebut kemudian dialirkan melalui sistem diagrid menuju pondasi.

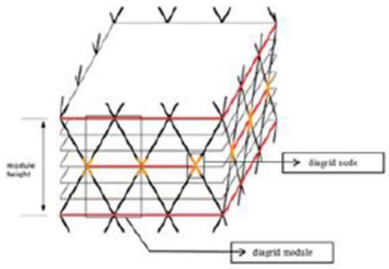
Pada sistem struktur baja diagrid terdapa beberapa komponen yang harus dipertimbangkan untuk menentukan kestabilan suatu bangunan tingkat tinggi, ada beberapa komponen struktur baja diagrid yang dijelaskan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Komponen Utam rangka diagrid dan elemen dasar segitiga

2.4.1 Modul

Modul diagrid mengacu pada jumlah lantai dalam konfigurasi berbentuk berlian (*diamond-shaped*) dari ujung lantai ke ujung lantai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8, di mana satu modul diagrid biasanya terdiri dari 6 lantai. Pemilihan modul diagrid memiliki dampak langsung pada tampilan visual struktur, ukuran jendela, serta penempatan dan jumlah sumber daya yang digunakan dalam proyek tersebut.



Gambar 2.8 Ilustrasi Modul dan Node Diagrid (Boake, 2014)

Menurut Terry Meyer Boake (2014), modul diagrid dapat dikelompokkan berdasarkan ketinggian lantainya sebagai berikut:

a. Modul kecil: Dua hingga empat lantai

Modul ini sering digunakan pada gedung rendah atau bangunan dengan geometri yang tidak biasa.

b. Modul menengah: Enam hingga delapan lantai

Modul ini cocok untuk gedung yang lebih besar dengan geometri yang lebih seragam. Panjang batang diagrid mencakup tiga hingga empat lantai, sehingga transportasi dan pemasangan tidak menjadi masalah besar.

c. Modul besar: Sepuluh lantai ke atas

Modul ini digunakan pada gedung sangat tinggi. Karena sambungan nodes tidak boleh terlalu besar, panjang batang diagonal memerlukan perhatian khusus, terutama terkait masalah transportasi.

d. Modul tidak teratur (Irregular)

Digunakan untuk gedung dengan bentuk yang sangat unik, yang sekilas terlihat acak. Ukuran modul tipe ini harus dirancang dengan sangat hati-hati untuk mencapai bentuk struktur yang diinginkan, serta membutuhkan pendekatan yang berbeda karena sifatnya yang tidak biasa.

2.4.2 Nodes / Simpul baja diagrid

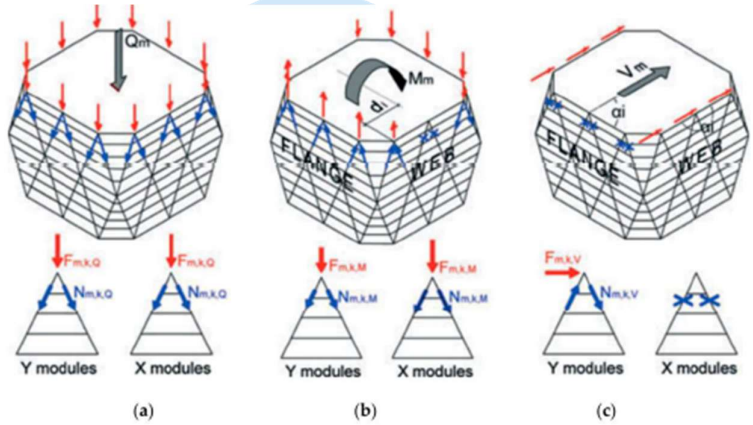
Struktur diagrid dibangun dengan menghubungkan batang-batang diagrid pada serangkaian nodes yang posisinya telah ditentukan sebelumnya. Node adalah titik di mana batang-batang diagonal bertemu atau bersilangan. Pada umumnya, nodes dalam sistem struktur diagrid terbuat dari pelat baja yang dilas dengan teknik khusus.

Nodes merupakan elemen kunci yang harus dirancang dengan sangat hati-hati, karena kegagalan pada nodes dapat menyebabkan kegagalan keseluruhan struktur. Sambungan nodes mengalami tegangan tinggi akibat pengaruh beban lateral dan beban gravitasi. Secara umum, fungsi nodes adalah memberikan jalur bagi beban yang melewati batang atau menerima beban dari empat arah, yaitu dari batang diagonal dan batang horizontal di kedua sisi. Kompleksitas ini membuat sambungan antara batang diagonal dan batang horizontal dalam struktur diagrid sulit untuk diproduksi di pabrik. Akibatnya, biaya sambungan nodes lebih tinggi dibandingkan sambungan pada struktur konvensional. Tingginya biaya fabrikasi nodes

dan elemen diagonal ini menyumbang sebagian besar pengeluaran dalam pembangunan struktur diagrid.

2.4.3 Skema Penyaluran beban pada struktur diagrid

Skema penyaluran beban pada sistem struktur baja diagrid di temukan oleh (Montuori dkk., 2016). Dimana sistem struktur diagrid mampu bekerja dengan sangan baik dan penyaluran beban yang merata. Skema yang dibuat untuk mengembangkan pendeketan berbasis kekuatan, dengan berbagai beban seperti : beban gravitasi, dan beban lateral pada bangunan yang dapat dilihat pada gambar 2.9

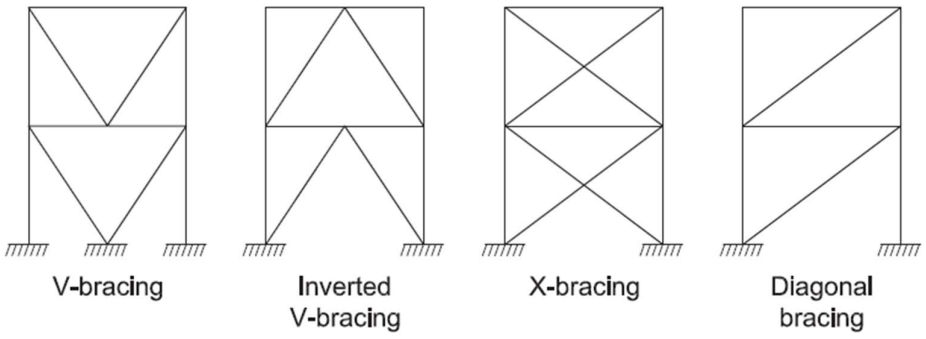


Gambar 2.9 skema modul diagrid : a. Beban gravitasi; b. Momen guling; c. Gaya geser

Sumber : (Montuori dkk., 2016).

2.5 Rangka Baja dengan Bresing Konsentris (RBBK)

Pada AISC 341-22 (2022) menjelaskan untuk Rangka yang ditopang secara konsentris (CBF) memiliki garis tengah member yang berpotongan di titik, sehingga membentuk sistem rangka vertikal dengan anggota yang terutama mengalami beban aksial. Beberapa tipe umum CBF ditunjukkan pada Gambar C-F2.1, termasuk Rangka Bresing V (atau rangkai V terbalik), rangkai X, dan rangkai diagonal. Khusus secara konsentris (SCBF) adalah CBF dengan persyaratan desain berbasis kapasitas yang ditambahkan



Gambar 2.10 Tipe a. V-Bresing, b. Inverted Bresing c. X Bresing, d. Diagonal Bresing

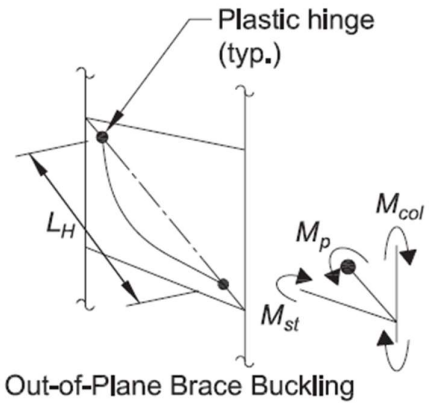
Sumber: AISC 341-22 (2022)

Kerusakan yang diamati dari gempa bumi di masa lalu dan uji laboratorium CBF dengan sedikit pertimbangan desain dan detailing member daktail secara umum menghasilkan daktilitas yang terbatas daktilitas dan kegagalan getas yang sesuai, yang biasanya dimanifestasikan dalam sambungan atau member pengaku. Pengaku yang tidak memenuhi persyaratan kekompakan menghasilkan tekuk lokal yang parah, yang menimbulkan konsentrasi tinggi regangan lentur di lokasi tekuk dan pada akhirnya memberikan sedikit inelastis kapasitas deformasi. Pergeseran lantai yang besar yang diakibatkan oleh kerusakan bresing awal dapat memberikan tuntutan daktilitas yang berlebihan pada balok, kolom, dan sambungan.

Penelitian telah menunjukkan bahwa CBF, dengan konfigurasi, desain member, dan yang tepat, dapat memiliki daktilitas yang jauh melebihi daktilitas yang sebelumnya ditunjukkan oleh sistem tersebut (Goel, 1992a, 1992b; Tremblay, 2001; Lehman dkk., 2008; Roeder dkk., 2011). Persyaratan desain SCBF didasarkan pada perkembangan penelitian tersebut.

Brikut tipe sambungan serta tekuk (Buckling) yang perlu diperhatikan, diantaranya:

2.5.1 Jenis Tekuk pada Bresing



Gambar 2.11 Tekuk diluar bidang
Sumber: AISC 341-22 (2022)

AISC 341-16 (2022) untuk Rangka Bresing Konsentris (RBK) beberapa tekuk yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Tekuk diluar bidang

   Ketika bresing dirinci untuk tekuk di luar bidang dan momen puntir dibebankan pada kolom. Kedua momen ini masing-masing adalah, komponen vertikal dan horizontal dari momen yang sama dengan yang diharapkan tahanan lentur bresing (lihat tekuk bresing di luar bidang pada Gambar 2.11). Jika sambungan bresing didetailkan untuk mengakomodasi rotasi inelastis daktail, maka momen ini dapat dibatasi hingga 1.1Ry kali ketahanan lentur nominal sambungan.

   Perlu dicatat bahwa bresing yang tertekuk di luar bidang tidak menyebabkan melintang di luar bidang gaya pada sambungan bresing-ke-kolom, dan momen pada titik kerja dapat diambil sebagai momen yang sesuai dengan tahanan lentur bresing atau sambungan bresing, tergantung mana yang mengatur. Momen di luar bidang harus ditahan oleh kolom, sedangkan momen puntir biasanya akan ditahan oleh penyangga lentur pada bidang horisontal (sengkang digunakan untuk menahan kolom terhadap torsi lihat Gambar 2.11).

Untuk tekuk bresing di luar bidang, momen pada kolom garis tengah dapat diambil sama dengan yang berkembang pada bresing atau sambungan bresing.beban vertikal yang timbul dari bresing setelah tekuk bresing.

2.5.2 Sambungan

Sambungan desain dan perincian harus menyadari bahwa tekuk bresing dapat menyebabkan rotasi yang berlebihan pada ujung bresing dan menyebabkan kegagalan sambungan lokal. Oleh karena itu seperti pada CBF baja, sambungan bresing harus didesain untuk mengakomodasi rotasi inelastis yang terkait dengan tekuk bresing atau memiliki kekuatan yang cukup dan kekakuan untuk mengakomodasi engsel plastis bresing yang berdekatan dengan sambungan.

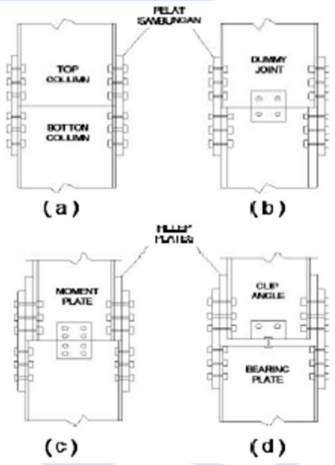
Bebarapa tipe sambungan pada Bresing Konstris, sebagai berikut:

1. Sambungan kolom

   Bentuk sambungan ditentukan berdasarkan perencanaannya, yaitu gaya dasar yang terdapat pada pelat kolom. Sambungan yang dirancang untuk menahan momen pada kolom disebut *momen splices* (sambungan momen), sedangkan yang dirancang untuk menahan gaya geser disebut *shear splices* (sambungan geser). Kolom berfungsi sebagai elemen yang menerima tiga jenis gaya, yaitu gaya aksial, gaya horizontal, dan momen puntir atau torsi, baik secara individu maupun kombinasi. Sambungan dalam bentuk pelat ditempatkan pada sayap kolom untuk menahan beban aksial dan beban kombinasi dengan momen, atau dipasang pada badan kolom untuk menahan gaya horizontal.

   Tipe-tipe sambungan kolom dapat dilihat pada Gambar 2.12. Pada Gambar (a), kolom atas dan kolom bawah memiliki bentuk yang sama dan disambungkan menggunakan pelat penyambung yang ditempatkan pada sayap kolom. Sambungan tipe ini hanya sesuai untuk menahan gaya tekan aksial. Pada Gambar (b), kolom atas dan bawah memiliki lebar yang sama, tetapi ketebalan sayap pada kolom atas lebih tipis dibandingkan kolom bawah. Sambungan ini dirancang khusus untuk

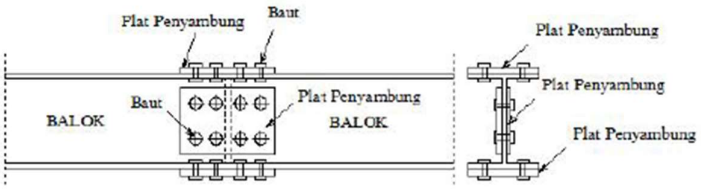
kolom yang hanya menerima gaya aksial. Gambar (c) menunjukkan sambungan antara dua kolom dengan lebar yang berbeda, yang memanfaatkan *filler plates* (pelat pengisi). Pelat pengisi ini digunakan untuk menambah ketebalan, sehingga lebar kolom atas menjadi setara dengan kolom bawah. Jika kolom harus menahan momen tambahan, jumlah baut yang telah dihitung dapat dikombinasikan dengan pelat momen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar (c). Pada sambungan dengan lebar yang berbeda, seperti pada Gambar (d), terkadang diperlukan pelat tumpuan setebal sekitar 5 cm. Pelat ini berfungsi untuk menciptakan hubungan yang stabil sehingga beban dapat ditransfer dengan baik ke kolom bawah.



Gambar 2.12 Macam-macam sambungan kolom

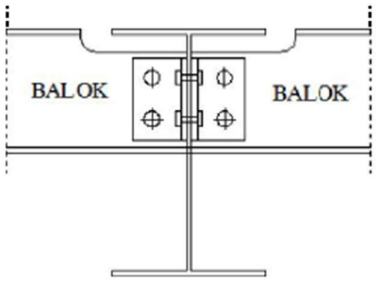
2. Sambungan Momen dan Geser Balok
   a. Sambungan Balok lurus (Momen)

      Pada sambungan balok lurus, disarankan untuk menyediakan sarana yang mampu menahan momen yang bekerja pada balok tersebut, yang dikenal sebagai *sambungan momen*. Sambungan ini sebaiknya tidak ditempatkan di lokasi momen maksimum pada bentang balok yang disambung.



Gambar 2 13 Sambungan balok Lurus

b. Sambungan Geser Balok Memanjang-Melintang



Gambar 2.14 Sambungan Balok memnajang ke balok melintang

Jika balok dirangkai secara transversal ke gelagar atau balok lainnya, balok tersebut dapat dipasang pada salah satu atau kedua sisi badan gelagar menggunakan sambungan balok dengan rangka sederhana atau dudukan yang dikombinasikan dengan sambungan balok rangka. Untuk sambungan antara balok dan balok, disarankan menyediakan sarana yang memungkinkan gaya tarik pada flens balok dapat ditahan melintasi balok lainnya yang terletak di sisi berlawanan dari badan gelagar.

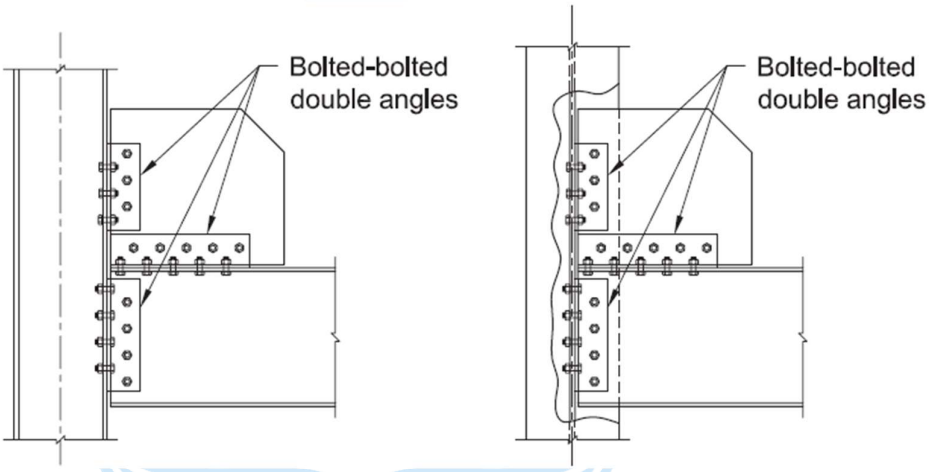
3. Sambungan kolom dan Balok

Sambungan kolom-balok dianggap menahan momen. Berikut penjelasanya:

a. Kekuatan lentur balok lebih dipengaruhi oleh terjadinya tekuk lokal daripada oleh tegangan leleh material. Selain itu, jika sambungan

balok terhubung ke penampang melintang yang telah direduksi, maka kekuatan lentur minimum yang diperoleh adalah sebesar $0{,}8M_p$ dari kapasitas balok saat diuji.

b. b) Sambungan yang memungkinkan rotasi pada komponen struktur yang terhubung dapat digunakan, asalkan analisis rasional menunjukkan bahwa deformasi sambungan tidak menyebabkan tambahan simpangan antar lantai yang melebihi kemampuan struktur. Analisis tersebut harus mempertimbangkan stabilitas keseluruhan sistem rangka, termasuk efek dari pengaruh orde kedua.

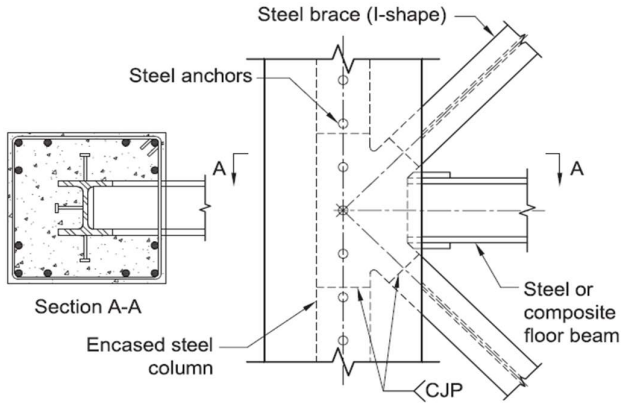


Gambar 2.15 Sambungan balok-ke-kolom yang dibaut dengan baut yang memungkinkan rotasi (McManus dkk., 2013).

Sumber: AISC 341-22 (2022)

4. Sambungan Bresing dengan kolom dan Balok

Bracing hanya dapat menahan gaya akibat berat sendiri dan tidak dapat menerima momen, sehingga berfungsi sebagai rangka batang yang bekerja sebagai elemen tekan atau tarik. Oleh karena itu, sambungan bracing pada pertemuan balok-kolom menggunakan sambungan sederhana atau sendi, di mana baut hanya dipasang pada bagian badan bracing.



Gambar 2.16 Penyangga konsentris kolom-ke-baja dari beton bertulang (atau komposit).

Sumber: AISC 341-22 (2022)

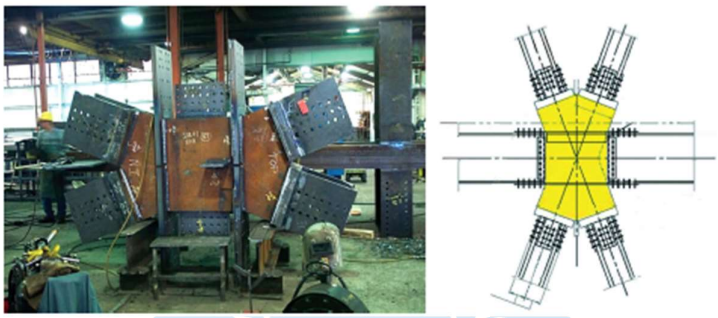
Sambungan harus diikuti sejauh menguraikan asumsi dasar untuk menghitung kekuatan mekanisme transfer gaya antara baja struktural dan member beton dan komponen. SCBF, di mana kawat gigi sering kali merupakan elemen penghasil utama, dan oleh karena itu, paling rentan terhadap deformasi inelastis. Lihat Bagian Komentar F2 untuk pembahasan lebih lanjut lebih lanjut mengenai respons yang diharapkan dari SCBF. Nilai dan batasan penggunaan untuk koefisien modifikasi respons seismik, R, dan faktor amplifikasi defleksi, Cd,untuk C-SCBF serupa dengan yang digunakan untuk SCBF baja. Sambungan bresing harus dirancang untuk menahan gaya lentur atau rotasi yang disebabkan oleh tekuk bresing. Sambungan yang memenuhi salah satu dari ketentuan berikut

dianggap memenuhi persyaratan ini:

(a) Kekuatan lentur yang disyaratkan: Sambungan bresing yang dirancang untuk menahan gaya lentur yang dikenakan oleh tekuk bresing harus memiliki kelenturan yang diperlukan kekuatan lentur yang diperlukan sama dengan kekuatan lentur bresing yang diharapkan dikalikan dengan 1.1 dan dibagi dengan αs. Kekuatan lentur bresing yang diharapkan harus ditentukan sebagai RyMp dari bresing terhadap sumbu tekuk kritis.

(b) Kapasitas rotasi: Sambungan bresing yang dirancang untuk menahan rotasi yang dipaksakan oleh tekuk bresing harus memiliki kapasitas rotasi yang cukup untuk mengakomodasi rotasi yang diperlukan pada perpindahan gempa desain. Rotasi inelastis pada sambungan diijinkan.

5. Sambungan Baja diagrid



Gambar 2. 17 Sambungan baja diagrid

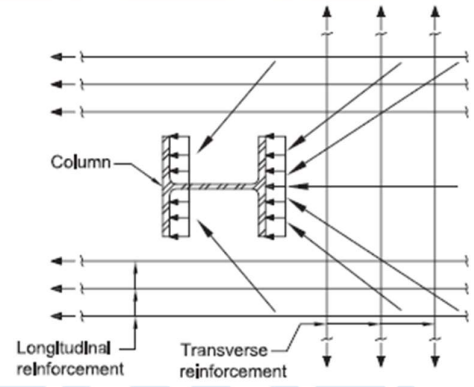
Sumber: (Seyedkazemi and Rofooei. 2021)

Pada penelitian ini sambungan digarid memiliki keunikan dalam hal konfigurasi dimana setiap sambungan menghubungkan setidaknya enam frame, empat diagonal dengan gaya aksial yang besar dan dua balok, secara bersamaan. Gambar 2.17 menggambarkan skema sambungan diagrid yang menjelaskan bagaimana sambungan baja diagrid belum ada spesifikasi desain yang perkenalkan, oleh karena itu, sambungan diagrid tidak dimodelkan secara detail, Namun demikian pemodelan yang digunakan struktur baja diagrid yaitu sambungan penahan momen dan sambungan berengsel dimana acuan untuk sambungan menggunakan metode Rangka Bresing Konsentris (RBK), Serta berdasarkan acuan SNI 1729:2019 dan AISC 341-22, sambungan baja harus didesain sedemikian rupa untuk mengetahui terjadinya sendi plastis pada elemen bresing atau balok, bukan pada sambungan, (Hwang dan Lignos 2017b), oleh karena itu sambungan diasumsikan sebagai sambungan penahan momen yang dihubungkan plat buhul. Batang diagonal baja diagrid yang kompleks dan menerima beban yang besar, maka sambungan (simpul) dibuat terlebih dahulu dengan fixty yang cukup (Boake, 2014), oleh karena itu dalam penelitian ini sambungan

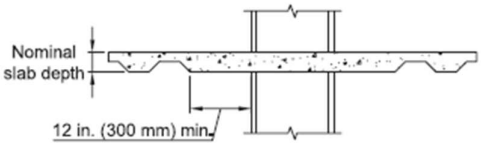
antara kolom dan balok dianggap menahan momen, dan sambungan di jepit atau kaku dan desain batang diagonal dan perlakunya diatur oleh kekuatan aksial, bukan kekuatan lentur (Kim dan Lee, 2012; Mele et al 2014; Asadi dan Adeli 2018).

6. Sambungan plat

Elemen penghubung harus didesain dengan gaya leleh yang kurang dari itu dari anggota yang terhubung untuk mencegah keadaan batas lokal - seperti tekuk lokal flens dalam kompresi, web lokal yang melumpuhkan balok, zona panel yang menghasilkan kolom, dan kegagalan baut atau las-dari pengendalian. Ketika kondisi batas ini dihindari, daktilitas sambungan yang besar harus menghasilkan kinerja rangka yang sangat baik di bawah pembalikan beban inelastis yang besar.



Gambar 2.18 Penyaluran beban plat

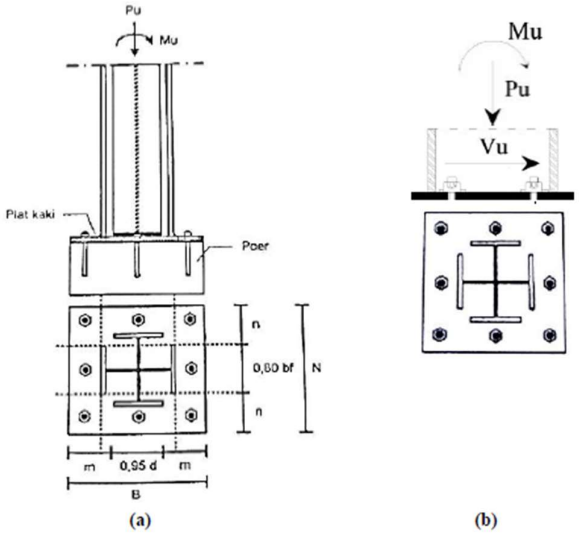


Gambar 2.19 Plat lantai

7. Plat Landasan *(Base Plate)*

Dalam perencanaan struktur baja, elemen penghubung antara kolom struktur dan pondasi biasanya disebut *base plate* atau plat landasan. Umumnya, sebuah *base plate* terdiri atas plat dasar, angkur, dan sirip-sirip pengaku

(stiffener). Struktur *base plate* dan angkur harus mampu mentransfer gaya geser, gaya aksial, serta momen lentur ke pondasi dengan baik.



Gambar 2.20 (a) Notasi pada plat landasan/base plate, (b) Beban yang bekerja pada plate landasan

2.6 Perencanaan Elemen struktur

Tata cara perencanaan elemen dijelaskan seperti pada SNI 1729 : 2020 Sebagai berikut:

2.6.1 Klasisifikasi Penampang untuk tekuk (Berdasarkan SNI 1729 : 2020)

Komponen struktur yang mengalami gaya tekan aksial diklasifikasikan berdasarkan elemen tekan menjadi elemen nonlangsing atau elemen langsing. Penampang dengan elemen nonlangsing memiliki rasio lebar terhadap tebal elemen tekan yang tidak melebihi nilai batas λr sesuai Tabel B4.1a. Jika rasio lebar terhadap tebal salah satu atau lebih elemen tekan melebihi λr, maka penampang tersebut dianggap memiliki elemen langsing.

Untuk komponen struktur yang menerima lentur, penampang dibagi menjadi tiga klasifikasi: elemen kompak, nonkompak, atau langsing. Penampang kompak memiliki sayap-sayap yang menyatu dengan badan, dan rasio lebar terhadap tebal setiap elemen tekan tidak boleh melebihi batas λp yang ditentukan

dalam Tabel B4.1b. Jika rasio lebar terhadap tebal salah satu atau lebih elemen tekan melebihi λp tetapi tidak melampaui λr (Tabel B4.1b pada SNI 1729:2020), penampang tersebut disebut nonkompak. Namun, jika rasio lebar terhadap tebal elemen tekan melebihi λr, maka penampang dianggap memiliki elemen langsing.

a. Elemen tidak diperkaku

Hggh Untuk elemen yang tidak diperkaku dan hanya ditumpu sepanjang satu sisi yang sejajar dengan arah gaya tekan, lebar elemen dihitung berdasarkan aturan berikut:

1. Sayap komponen struktur bentuk-I dan T

   Lebar (*b*) dihitung sebagai setengah dari lebar total sayap ($b_x = bf / 2$).

2. Kaki profil siku, sayap kanal, dan Z

   Lebar (*b*) sama dengan lebar total kaki atau lebar total sayap.

3. Pelat

   Lebar (*b*) adalah jarak dari tepi bebas elemen hingga baris pertama pengencang (seperti baut) atau garis las.

4. Badan profil T

   Tinggi total badan (*d*) sama dengan tinggi total profil.

b. Elemen diperkaku

G Untuk elemen yang diperkaku dan ditumpu sepanjang dua tepi yang sejajar dengan arah gaya tekan, lebar elemen ditentukan berdasarkan kriteria berikut:

1. Badan profil gilas panas *h*: Jarak bersih antara sayap, dikurangi radius sudut di pertemuan sayap dan badan. *hc*: Dua kali jarak dari pusat berat badan ke muka bagian dalam sayap tekan, dikurangi radius sudut.
2. Badan profil tersusun *h*: Jarak antara baris pengencang yang berdekatan atau jarak bersih antara sayap-sayap jika menggunakan las. *hc*: Dua kali jarak dari pusat berat badan ke baris pengencang terdekat pada sayap tekan, atau ke muka bagian dalam sayap tekan jika menggunakan las. *hp*: Dua kali jarak dari sumbu netral plastis ke baris pengencang

terdekat pada sayap tekan, atau ke muka bagian dalam sayap tekan jika menggunakan las.

2.6.2 Komponen Struktur Untuk Tekan (Berdasarkan SNI 1729 : 2020)

Batang tekan dalam struktur jarang mengalami tekanan aksial murni karena gaya yang bekerja biasanya melibatkan komponen lentur akibat eksentrisitas atau kondisi tumpuan yang tidak sempurna. Namun, jika kondisi pembebanan dan penyusunan struktur dirancang dengan baik, tekanan aksial murni dapat mendekati kenyataan.

Kondisi ideal untuk batang tekan yang bekerja secara konsentris:

1. Rotasi ujung batang dapat diabaikan

   Hal ini dapat dicapai dengan memastikan tumpuan batang memiliki kondisi yang mendukung (seperti sendi-sendi sempurna atau tumpuan tetap yang kokoh).
2. Pembebanan simetris pada titik simpul

   Beban pada batang yang bertemu di simpul harus didistribusikan secara seimbang sehingga tidak menimbulkan momen tambahan akibat eksentrisitas.

Jika kedua kondisi ini terpenuhi, maka batang tekan dapat direncanakan secara aman sebagai batang yang dibebani secara konsentris. Perencanaan seperti ini memaksimalkan efisiensi desain karena batang hanya dipertimbangkan mengalami gaya tekan aksial tanpa pengaruh lentur atau momen tambahan yang signifikan.

Menurut (SNI 1729:2020 Pasal E1) Kekuatan tekan desain $\phi c, P_n$ dan Kekuatan Tekan tersedia, Pn/Ωc, di tentukan sebagai berikut: Ketentuan tekan Nominal, Pn harus nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi lentur.

$$P_u < \phi P_n \qquad (2.14)$$

Untuk $\Phi t = 0{,}90$ (DFBK) Untuk $\Phi t = 1{,}67$ (DKI)

Untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen langsing atau penampang non-langsing. Untuk profil elemen nonlangsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λr. Jika rasio trsebut melebihi λr disebut penampang dengan elemen langsing.

Rasio tebal terhadap lebar : Elemen Tekan Komponen struktur yang menahan tekan aksial untuk PSB Bulat:

1. Rasio Ketebalan – Terhadap – Lebar D/t
2. Batasan Rasio Tebal – terhadap – lebar = 0,11 x $\frac{E}{Fy}$

Rasio tebal – terhadap – lebar : Elemen tekan Komponenen Struktur Menahan Lentur utuk PSB Bulat :

Rasio Ketebalan – terhadap – lebar D/t

$$\lambda P = 0.07\ x \frac{E}{Fy} \quad (2.15)$$

$$\lambda P = 0.31\ x \frac{E}{Fy} \quad (2.16)$$

Dimana :

E : Modulus elastisitas baja = 29.000 ksi (200.000 Mpa)

Fy : Tegangan leleh minimum yang di syaratkan, ksi (Mpa)

2.6.3 Panjang Efektif (K) (Berdasarkan SNI 1729 : 2020)

Untuk koponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif dapat memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$(K.L)/r < 200 \quad (2.17)$$

Kekuatan tekanan normal, *Pn*, harus nilai terendah berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi dan tekuk-lentur yang sesaui.

$$Pn = Ag \text{ x } FCR \quad (2.18)$$

Tegangan Kritis, *FCR*, harus ditentukan sebagai berikut :

Bila $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$ (atau $\frac{Fy}{Fe} \leq 2.25$)

$$Fcr = \left[0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right] Fy \quad (2.19)$$

Bila $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ (atau $\frac{Q.Fy}{Fe} > 2.25$)

$$Fcr = 0.877.Fe \quad (2.20)$$

$$Fe = \frac{\pi 2\ x\ E}{\left(\frac{K.L}{T}\right)2} \quad (2.21)$$

Dimana :

Fe : Tegangan tekuk kritis elastis (Mpa)

Ag : Luas penampang bruto

K : Faktor panjang efektif

L : Panjang batang tekuk

r : radius girasi atau jari -jari girasi

2.6.4 Komponen Struktur Untuk Tarik Aksial (Berdasarkan SNI 1729 : 2020)

Menurut (SNI 1729-2020 Pasal DI*)* Kekuatan Tarik desain, $\phi_t P_n$, kekuatan Tarik tersedia, P_n/Ω_t, dari komponen struktur tarik, harus nilai terndah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dai leleh tarik pada penampangan bruto dan keruntuhan tarik pada penamang neto.

$$Pu \leq \Phi.Pn \quad (2.22)$$

Φ_t = 0,90 (DFBT) Ω_t = 1.67 (DKI)

Menurut (SNI 1729-2020 Pasal D2) Kekuatan Tarik desain, $\Phi_t P_n$, dan Kekuatan tarik tersedia, Pn/Ω_t, dari komponen struktur tarik, harus nilai terndah yang diperoleh sesuai dengan kadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang netto.

a) Menghitung tegangan leleh tarik pada penampang bruto

$$Pn = Fy \text{ x } Ag \quad (2.23)$$

b) Menghitung tegangan leleh tarik pada penampang netto

$$Pn = Fu \text{ x } Ae \quad (2.24)$$

Φ_t = 0,75 (DFBT) Ω_t = 2.00 (DKI)

Dimana :

Ae : Luas Neto Efektif, in^2 (mm^2)

Ag : Luas Bruto dari komponen Struktur, in^2 (mm^2)

F_y : Tegangan leleh minimum yang disyaratkan, ksi (Mpa)

F_u : Kekuatan Tarik Minimum yang disyaratkan, ksi (Mpa)

Pn : Tegangan nominal aksial, ksi (MPa)

2.7 Penelitian Terdahulu

(Asadi, Li, and Heo 2018) Meneliti tentang kerangka kerja untuk penilaian kinerja dan estimasi kerugian bangunan diagrid baja. Dengan berbagai model bangunan yaitu (4, 8, 15, dan 30 lantai) dan sudut diagonal yang berbeda (45^0, 63^0, dan 72^0) dipertimbangkan untuk melihat efek geometrik. Analisis statis nonlinear digunakan untuk mempelajari distribusi beban internal dan pembentukan engsel palstis pada rangka diagonal dan mengevaluasi paramater desain utama, NTHA digunakan untuk mengukur EDP utama yang diperlukan untuk penilaian kinerja dan analisis estimasi kerugian, Analiss Dinamis Tambahan (IDA) digunakan untuk mengembangkan fungsi kerapuhan keruntuhan dan kriteria kerusakan dan kinerja. Pendekatan probabilitas digunakan untuk merumuskan kriteria kinerja seismik baru untuk struktur diagrid baja, Kerangka kerja yang diajukan oleh FEMA P-58 PACT dan digunakan untuk mengevaluasi fungsi distribusi kerugian bangunan baja diagrid tipe dasar, serta komponen struktural dan nonstrutural. Kerugian destimasi dengan menggunakan pendekatan berbasis intensitas sesuai FEMA P-58, dengan mempertimbangkan dua tingkat bahaya, yaitu design base eartquake (DBE) dengan probabailitas 10% terlampaui dalam 50 tahun dan maximum considered earthquake (MCE) dengan probabilitas 2% terlamapui dalam 50 tahun berdasarkan peta bahaya United States Geological Survey (USGS).

(Nugroho and Andayani 2025) .Melakukan Penelitian ini untuk mengevaluasi performa struktur gedung dengan sistem diagrid dan menentukan konfigurasi batang diagonal yang optimal. Terdapat enam tipe gedung yang ditinjau, termasuk satu tipe gedung konvensional dan lima tipe gedung diagrid dengan karakteristik berikut:

1. Gedung Konvensional: Tipe gedung konvensional.
2. Diagrid Tipe 2L20M: Kemiringan batang diagonal 33,94°.

3. Diagrid Tipe 4L10M: Kemiringan batang diagonal 53,39°.
4. Diagrid Tipe 8L5M: Kemiringan batang diagonal 69,62°.
5. Diagrid Tipe 10L4M: Kemiringan batang diagonal 73,45°.
6. Diagrid Tipe 20L2M: Kemiringan batang diagonal 81,55°.

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS dengan mengikuti peraturan SNI yang berlaku di Indonesia. Performa yang dievaluasi meliputi dimensi penampang struktur, total berat struktur, base shear, kinerja pada batas layan, dan periode getaran struktur.

Hasil analisis menunjukkan bahwa gedung dengan sistem diagrid memiliki performa struktur yang lebih baik dibandingkan dengan gedung konvensional. Di antara lima tipe gedung diagrid yang ditinjau, tipe 10L4M dengan panjang batang diagonal 36,51 meter menonjol sebagai yang memiliki performa paling optimal. Tipe ini memiliki tinggi modul 35 meter dan sudut kemiringan batang diagonal sebesar 73,45°. Tipe diagrid dengan performa terbaik kedua adalah 8L5M, diikuti oleh tipe 4L10M sebagai yang terbaik ketiga, dan tipe 20L2M di urutan keempat. Tipe diagrid dengan performa paling rendah adalah 2L20M, yang menunjukkan performa yang kurang baik dibandingkan dengan gedung konvensional. Penelitian ini memberikan wawasan tentang bagaimana konfigurasi batang diagonal dalam sistem diagrid dapat mempengaruhi performa keseluruhan struktur gedung, dengan fokus pada efisiensi dan keandalan dalam menanggapi beban lateral seperti gempa. (Palacio-Betancur and Gutierrez Soto 2022) Meneliti tentang banyaknya bangunan yang menyatu dengan persamaan kode empiris periode fundamental, memberikan landasan untuk meningkatkan pemahaman tentang sifat struktural utama ini. Dengan menggunakan analisis regresi nnlinear, diusulkan tiga persamaan kode saat ini. Desain ini juga memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang sudut diagrid yang optimal, dan dipastikan bahwa sudut tersebut meningkat seiring dengan ketinggian bangunan; dengan demikian persamaan linier diusulkan untuk estimasi yang cepat dan akurat. Penting juga untuk digarisbawahi bahwa kepadatan diagrid mengubah efisiensi struktural sistem dan harus dianggap sebagai parameter penting dalam desain sistem diagrid. Penelitian ini mempertimbangkan ukuran sampel dari 200 struktur bangunan diagrid baja dengan geometri berbeda untuk mengidentifikasi variasi sifat

struktur sistem. Model analitik dihasilkan menggunakan pemrograman komputer MATLAB versi 2020b, dan desain struktur optimal diperoleh dengan menggunakan model CPND untuk setiap bangunan mengikuti prosedur desain faktor beban dan ketahanan (LRFD) dari manual konstruksi baja AISC-15 dan kondisi pembebanan. dari standar ASCE 7-16.

(Sethumadhavan and David 2021) Menjelaskan penelitianyan tentang sistem struktur diagrid, bresing diagonal paling sering berfungsi sebagai elemen penahan beban gravitasi primer dan elemen penahan beban lateral. Ciri khas lain yang terkait dengan sistem ini adalah berkurangnya keuletannya, terutama untuk sistem dominan geser dengan sudut diagonal lebih rendah. Biasanya ditandai dengan redundansi struktural yang lebih sedikit dan respons pasca-hasil yang tidak ulet, desain struktur diagrid di zona seismik tinggi harus dilakukan dengan hati-hati. Mungkin ada anggapan yang salah bahwa sistem struktur yang terbukti efisien untuk bangunan bertingkat tinggi dapat memenuhi persyaratan struktur bangunan bertingkat rendah hingga menengah dengan aman. Meningkatnya permintaan akan tata letak geometris bentuk bebas dapat mengakibatkan pemilihan sistem struktur ini secara naluriah dan tidak hati-hati untuk bangunan bertingkat rendah hingga menengah karena efektivitasnya pada struktur bertingkat tinggi. Namun, pada tingkat kompresi aksial yang tinggi (biasanya terkait dengan kegempaan yang tinggi), komponen struktur diagonal dapat mengalami tekuk, dan terbatasnya redundansi dalam konfigurasi struktur secara signifikan dapat mempengaruhi respons pasca-hasil global dari sistem struktur. Oleh karena itu, makalah ini mengkaji kasus di mana sistem struktur diagrid digunakan untuk desain konsep struktur komersial bertingkat di zona seismik tinggi, dan ketidakefektifan yang terkait dengan perilaku seismik sistem berhasil diatasi dengan mengadopsi dua metodologi yang berbeda. Dengan penyangga tahan tekuk (BRBs) sebagai elemen diagonal pada pendekatan pertama dan konektor leleh (YCs) sebagai elemen sekering pada pendekatan kedua. Kedua solusi tersebut memiliki kinerja yang baik dalam hal meningkatkan respons pascahasil sistem. Namun, penggunaan konektor luluh bisa sangat efektif dalam sistem diagrid dominan geser dengan sudut diagonal

lebih rendah karena respons pengerasan paska hasil dalam kompresi yang ditunjukkan oleh elemen konektor.

(Fayas R. Rofoi and Ali Seedkazemi, 2018), dalam peneltianya yang berjudul "Evaluasi kinerja Sesimic struktur diagrid baja menggunakan prosedur FEMA P695 dan ATC-19" menjelaskan bahwa kinerja seismik dan kapasitas keruntuhan sistem diagrid baja dievaluasi dengan mempertimbangkan perilaku anggota diagonal pasca-tekuk dalam kompresi. Bertujuan untuk menggabungkan dua metode berbeda yang diperkenalkan oleh ATC-19 (1995) dan FEMA P-695 digunakan untuk menghitung SPF. Adapun kelemahan dari koefesien yang diusulkan ATC-19 yaitu kurangnya pertimbangan teknik lanjutan yang tersedia seperti IDA dalam menghitung dan memvalidasikan faktor modifikasi respon yang dihitung, disatu sisi yaitu metode FEMA P-695 adalah menyediakan metode eksplisit untuk menghitung faktor R. Faktanya, metodelogi ini hanya mengevaluasi validasi faktor R yang digunakan dalam desain model arketipe melalui metode dinamis lanjutan seperti IDA. Jadi menyimpulkan metode ATC-19 digunakan untuk menghitung SPF sementara untuk metode FEMA P-695 diadopsi untuk mengevaluasi kekauratan faktor yang dhitung.

Tabel 2.2 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini

No.	Peneltian Terdahulu	Perbedaan	
		Penelitian Terdahulu	Penelitian Saat Ini
1.	Peneliti : (Asadi et al., 2018) Judul Penelitian : " Kerangka Kerja Untuk Penilaian Kinerja Dan Estimasi Kerugian Bangunan Diagrid Baja"	1. Obyek Penelitan : Bangunan gedung yang berlokasi di Amerika Serikat. 2. Metode Analisis : Metode NTHA, Metode FEMA P-58 PACT 3. Tujuan Evaluasi:	1. Obyek Penelitian : Bangunan Gedung Kantor yang berlokasi di DI Yogyakarta. 2. Metode Analisis : Menggunakan analisis nonlinear (*Pushover*) Analisis Kinerja struktur diagrid pada beban

No.	Peneltian Terdahulu	Perbedaan	
		Penelitian Terdahulu	**Penelitian Saat Ini**
		Penilaian kinerja dan estimasi kerugian bangunan diagrid baja	lateral serta Analisis tekuk, 3. Tujuan Evaluasi : Menilai kinerja Struktur diagrid pada zona seismik mengunakan acuan SNI 1729-2020 (BSN, 2020, SNI 1727-2020 (BSN, 2020), SNI 1726-2019 (BSN, 2020), SNI 2847-2019 (BSN, 2020), FEMA P-695 (2019), ASCE 41-13.
2.	Peneliti : Mamun dan Saatcioglu (2017) Judul Penelitian : *"Seismic Damage Assessment of Reinforced Concrete Frame Buildings in Canada"*	1. Obyek Penelitian : Bangunan Gedung dengan jumlah 5 Dengan konfigurasi yang berbeda dan gedung sistem konvesional. 2. Metode Analisis : Menggunakan ETABS nonlinear dan dinamik linear (Respon Spektrum) 3. Tujuan Asesmen : Mengetahui kinerja bangunan yang dirancang sebelum dan sesudah tahun 1975 di wilayah	1. Obyek Penelitian :Bangunan Gedung Kantor yang berlokasi di DI Yogyakarta. 2. Metode Analisis : Menggunakan analisis nonlinear (*Pushover*) Analisis Kinerja struktur diagrid pada beban lateral serta Analisis tekuk, 3. Tujuan Evaluasi : Menilai kinerja Struktur diagrid pada zona seismik mengunakan acuan SNI 1729-2020 (BSN, 2020, SNI 1727-2020 (BSN, 2020), SNI 1726-2019 (BSN, 2020), SNI

No.	Peneltian Terdahulu	Perbedaan	
		Penelitian Terdahulu	**Penelitian Saat Ini**
		Kanada bagian Timur dan Barat.	2847-2019 (BSN, 2020), FEMA P-695 (2019), ASCE 41-13 NSP.
3.	(Palacio-Betancur and Gutierrez Soto 2022) Judul Penelitian : Sifat struktural bangunan diagrid tinggi menggunakan model neural dinamis untuk optimasi desain	1. Obyek penelitian: Menggunakan ukuran sampel 200 struktur bangunan diagrid 2. Metode Analisis: Menggunakan pemgoraman MATLAB versi 2020b 3. Tujuan Asesmen : membandingkan ukuran sampel dari 200 struktur bangunan diagrid baja dengan geometri berbeda.	1. Obyek Penelitian :Bangunan Gedung Kantor yang berlokasi di DI Yogyakarta. 2. Metode Analisis : Menggunakan analisis nonlinear (*Pushover*) Analisis Kinerja struktur diagrid pada beban lateral serta Analisis tekuk, 3. Tujuan Evaluasi : Menilai kinerja Struktur diagrid pada zona seismik mengunakan acuan SNI 1729-2020 (BSN, 2020, SNI 1727-2020 (BSN, 2020), SNI 1726-2019 (BSN, 2020), SNI 2847-2019 (BSN, 2020), FEMA P-695 (2019), ASCE 41-13.
4	Peneliti : (Sethumadhavan and David 2021) Judul penelitian: Respon seismik sistem Diagrid : Daktalitas kekahwatiran pada	1. Obyek penelitian: Struktur diagrid dan BRB 2. Metode Analisis: Apliaksi OpenSees model	1. Obyek Penelitian : Bangunan Gedung Kantor yang berlokasi di DI Yogyakarta. 2. Metode Analisis :

No.	Peneltian Terdahulu	Perbedaan	
		Penelitian Terdahulu	**Penelitian Saat Ini**
	struktur rendah hingga menengah	3. Tujuan Asesmen : Analsis Non linear struktur diagrid, menekankan keuletan sistem	Menggunakan analisis nonlinear (*Pushover*) Analisis Kinerja struktur diagrid pada beban lateral serta Analisis tekuk, 3. Tujuan Evaluasi : Menilai kinerja Struktur diagrid pada zona seismik mengunakan acuan SNI 1729-2020 (BSN, 2020, SNI 1727-2020 (BSN, 2020), SNI 1726-2019 (BSN, 2020), SNI 2847-2019 (BSN, 2020), FEMA P-695 (2019), ASCE 41-13.
5	Peneliti: (Fayas R. Rofoi and Ali Seedkazemi, 2018) Judul penelitian: Evaluasi faktor kinerja seismik untuk sistem struktur diagird baja menggunakan prosedur FEMA P-695 dan ATC-19	1. Obyek: Mengevaluasi kinerja seismik struktur baja diagrid menggunakan 5 model 2. Metode Analisis: Perangkat lunak ETABS, Opensees, Metode FEMA P-695, ATC-19 3. Tujuan Asesmen: menganalisis perbandingan FEMA P-695 dan ATC-19	1. Obyek Penelitian : Bangunan Gedung Kantor yang berlokasi di DI Yogyakarta. 2. Metode Analisis : Menggunakan analisis nonlinear (*Pushover*) Analisis Kinerja struktur diagrid pada beban lateral serta Analisis tekuk, 3. Tujuan Evaluasi : Menilai kinerja Struktur diagrid pada

No.	Peneltian Terdahulu	Perbedaan	
		Penelitian Terdahulu	**Penelitian Saat Ini**
			zona seismik mengunakan acuan SNI 1729-2020 (BSN, 2020, SNI 1727-2020 (BSN, 2020), SNI 1726-2019 (BSN, 2020), SNI 2847-2019 (BSN, 2020), FEMA P-695 (2019), ASCE 41-13.