

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terjadinya gempa, posisi Indonesia yang berada di “*Ring of Fire*” atau “Lingkaran Api Pasifik” menjadikannya rawan bencana, wilayah ini adalah zona dengan aktivitas seismik yang tinggi akibat pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Dampaknya, Indonesia memiliki sekitar 127 gunung berapi, dengan 75 di antaranya masih aktif. Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergetar atau berguncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik (Atmojo & Muhandhis, 2019). Atau, dapat diartikan sebagai suatu gerakan atau getaran yang terjadi pada kulit bumi karena sebab dari tenaga endogen. Tenaga endogen merupakan tenaga atau kekuatan perut yang terjadi karena adanya perubahan pada kulit bumi (Tjasyono, 2006).

Berdasarkan hal diatas, bangunan di Indonesia rentan mengalami kerusakan atau bahkan keruntuhan, jika tidak dirancang dengan standar tahan gempa dan akan sangat berbahaya untuk dipergunakan jika bangunan tersebut bertujuan untuk khalayak umum salah satunya seperti bangunan kantor imigrasi kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara. Kantor ini merupakan bangunan strategis yang harus membutuhkan sistem struktur yang kuat dan tahan terhadap beban gempa mengingat lokasinya berada di wilayah dengan risiko seismik menengah hingga tinggi. Salah satu elemen struktur yang penting dalam mendukung beban vertikal dan lateral adalah kolom.

Kolom adalah elemen struktur tekan yang berperan penting dalam suatu bangunan. Keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan lantai yang bersangkutan dan bahkan runtuhnya seluruh struktur (Sudarmoko, 1996). Kolom merupakan bagian rangka utama struktur yang berfungsi menahan beban dari lantai atas dan mendistribusikannya ke lantai bawah sampai ke bagian pondasi, oleh karena itu kolom harus dirancang sedemikian rupa agar memiliki kekuatan dan stabilitas yang memenuhi dalam menahan beban. Seiring dengan perkembangan desain konstruksi, untuk mendapatkan kekuatan yang lebih optimal, kini banyak digunakan kolom komposit yaitu kolom yang dibuat dengan lebih dari satu jenis material.

Alasan utama kolom komposit dipilih dibandingkan kolom beton bertulang biasa adalah untuk mendapatkan kekuatan dan kekakuan yang jauh lebih tinggi pada dimensi penampang (ukuran) yang lebih ramping. Kolom beton bertulang biasa sangat umum dan efektif, namun pada bangunan tinggi (*high-rise*) atau bangunan dengan tuntutan beban yang sangat besar, kolom beton bertulang biasa di lantai bawah harus dibuat dengan ukuran yang sangat masif. Hal ini tentu kolom nantinya akan memakan banyak ruang, mengurangi fungsionalitas, dan menambah berat sendiri struktur secara signifikan. Kolom Komposit juga memberikan kekuatan dan kekakuan yang lebih baik daripada kolom beton bertulang biasa, sehingga lebih baik pula untuk menahan beban gempa, yang mana desainnya kini diatur secara komprehensif dalam SNI 1729-2020 tentang “Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”.

Salah satu kolom komposit yang banyak digunakan adalah kolom komposit baja-beton, tujuannya untuk menggabungkan kelebihan-kelebihan dari dua material

tersebut. Secara umum terdapat 2 jenis kolom komposit baja-beton yang biasa digunakan sebagai komponen struktur pada gedung, yaitu kolom komposit *inside steel* dan *outside steel*. Kolom komposit *inside steel (concrete encased column)* merupakan kolom dengan struktur baja terbungkus oleh beton, sedangkan kolom komposit *outside steel (concrete filled column)* merupakan kolom baja yang berisi beton. (Propika dkk, 2020). Selain itu, berkaitan dengan lokasi bangunan di wilayah rawan gempa, kolom komposit dapat dijadikan sebagai pilihan untuk mendapatkan kekuatan yang baik terhadap gaya lateral akibat gempa. Jenis kolom komposit baja-beton memiliki kekuatan yang lebih optimal pada struktur gedung di tempat rawan gempa yang ditunjukkan dengan kebutuhan dimensi yang lebih kecil dan kebutuhan material yang lebih rendah, selain itu strukturnya menyerupai kolom baja namun aman terhadap bahaya kebakaran (Ade P. A, Servie O. D, & Banu D. H, 2019). Kolom komposit baja terbungkus beton (*inside steel*) telah menjadi bentuk yang banyak dipakai dalam struktur tahan gempa. Dalam pembebanan lentur yang besar, selubung beton akan retak dan mengakibatkan pengurangan kekakuan akan tetapi inti baja memberikan kapasitas geser dan ketahanan ulet terhadap siklus beban berikutnya. Ketika kolom komposit diberikan beban aksial, penampang komposit mampu menahan momen lentur melebihi momen ultimatnya. Hal ini mirip dengan efek gaya prategang pada beton yang diperkuat oleh tulangan (Shanmugam N. E & Lakshmi B, 2001). Kualitas kolom yang telah diisi oleh beton menunjukkan kinerja struktural yang baik hal tersebut ditunjukkan oleh kekuatan dan daktilitas yang lebih tinggi (Ge, H, & Usami, T, 1992)

Upaya dalam memperkuat bangunan di masa kini telah banyak digunakan metode struktur beton bertulang dengan memanfaatkan bahan komposit. Persoalan

yang sering muncul pada kolom komposit meliputi kekuatan tekan, daktilitas, dan detail sambungan yang harus memenuhi kriteria desain gempa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur terutama pada kolom komposit pada bangunan kantor imigrasi kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara untuk memastikan kesesuaiannya dengan peraturan bangunan tahan gempa, seperti SNI 1726-2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Tingginya Risiko Seismik Wilayah : Letak geografis Indonesia di kawasan *Ring of Fire* dan pertemuan tiga lempeng tektonik menyebabkan tingginya potensi gempa bumi yang dapat mengancam stabilitas struktur bangunan.
2. Kerentanan Bangunan Publik : Bangunan Kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara merupakan fasilitas publik strategis yang berada di wilayah risiko seismik menengah hingga tinggi, sehingga rentan mengalami kerusakan fatal jika tidak direncanakan dengan standar tahan gempa yang ketat.
3. Peran Kritis Elemen Kolom: Kolom merupakan komponen struktur utama penahan beban vertikal dan lateral, kegagalan pada kolom dapat memicu keruntuhan progresif (*progressive collapse*) pada seluruh bangunan.
4. Keterbatasan Kolom Beton Bertulang Biasa : Penggunaan kolom beton bertulang konvensional pada bangunan dengan beban besar seringkali

menghasilkan dimensi yang masif (boros ruang) dan beban mati yang berlebih, sehingga kurang efisien dibandingkan kolom komposit.

5. Kompleksitas Perilaku Kolom Komposit : Meskipun kolom komposit (baja-beton) memiliki keunggulan kekuatan dan kekakuan, terdapat permasalahan teknis yang kompleks terkait kapasitas kuat tekan, daktilitas, dan detail sambungan yang harus dipastikan memenuhi kriteria desain tahan gempa.

1.3 Rumusan Masalah

1. Apakah struktur pada bangunan kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara telah memenuhi ketentuan bangunan tahan gempa yang berlaku di Indonesia ?
2. Bagaimana Kapasitas kolom komposit pada bangunan bila dianalisis berdasarkan rasio tuntutan (*P-M-M Interaction Ratio*) atau diagram interaksi kolom terhadap *output* didalam *software* ?

1.4 Batasan Masalah

1. Analisis keseluruhan struktur dilakukan dengan bantuan software *ETABS* sesuai ketentuan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726-2019 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung”.
2. Analisis kapasitas kolom komposit mempertimbangkan terhadap kondisi pada kapasitas momen lentur maksimum (M_{ux} & M_{uy}) terhadap gaya geser lateral maksimum (V_x & V_y), dan gaya tarik/tekan aksial maksimum (P_u) hingga didapat diagram interaksi dengan bantuan *Software ETABS* dan *CSICOL* sesuai ketentuan.

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan sebagaimana yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengevaluasi apakah struktur pada bangunan kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara telah memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726-2019.
2. Menganalisis kapasitas struktur kolom komposit terhadap beban gempa berdasarkan diagram interaksi kolom.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penulisan penelitian ini berdasarkan tujuan diatas, antara lain :

1. Manfaat Teoritis (Akademis)
 - a. Penelitian ini memberikan pemahaman tentang perilaku dan kinerja struktur komposit ketika dievaluasi berdasarkan prinsip-prinsip bangunan tahan gempa.
 - b. Skripsi ini berperan sebagai jembatan antara teori yang dipelajari di bangku kuliah dengan penerapannya pada sebuah bangunan nyata.
2. Manfaat Praktis

Mengingat tingkat keselamatan dan keamanan Kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Suamtera Utara sebagai aset publik. Penelitian akan menjawab apakah kolom komposit yang digunakan telah memenuhi standar ketahanan gempa yang berlaku, sehingga dapat menjamin keselamatan pengguna bangunan.

3. Manfaat Sosial

- a. Meningkatkan Rasa Aman bagi Masyarakat dan Aparatur Sipil Negara.
Kantor imigrasi adalah tempat pelayanan publik yang ramai dikunjungi. Memastikan bangunannya aman dari bahaya gempa akan menciptakan rasa nyaman dan aman bagi seluruh pengunjung dan para pegawai yang bekerja di dalamnya.
- b. Penelitian yang berfokus pada evaluasi ketahanan gempa infrastruktur pemerintah merupakan bentuk nyata partisipasi dalam upaya membangun ketahanan bencana nasional, dimulai dari tingkat struktur bangunan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Kolom komposit dengan kombinasi material baja struktural dan beton bertulang merupakan sistem struktur modern yang menawarkan kekuatan tinggi dan efisiensi ruang. Perilakunya saat menahan beban gempa sangat kompleks dan memerlukan perencanaan yang detail dan akurat. Penelitian ini penting untuk memverifikasi apakah desain dan pelaksanaan struktur pada bangunan tersebut sudah mempertimbangkan kaidah-kaidah bangunan tahan gempa.

Pada bab ini Penulis memaparkan dasar-dasar teoritis mengenai kolom komposit, sifat material, perilaku seismik struktur, peraturan perencanaan ketahanan gempa, pembebanan yang berlaku di Indonesia, metode analisis linear yang digunakan untuk evaluasi kinerja, serta ringkasan studi-studi terdahulu yang relevan dengan topik skripsi ini

2.2 Penelitian Terdahulu yang Relevan

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik evaluasi struktur kolom komposit dan bangunan tahan gempa di Indonesia :

1. Analisis Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Kantor dengan Kolom Komposit

Penelitian ini melakukan analisis perbandingan kinerja struktur gedung perkantoran di Surakarta. Menunjukkan bahwa penggunaan kolom komposit secara signifikan meningkatkan kapasitas kolom dalam menerima beban aksial

dan lentur, yang ditandai dengan penurunan nilai *demand per capacity ratio* (DCR) sehingga memenuhi persyaratan keamanan.

2. Evaluasi Teknis Penggunaan Kolom Komposit Baja Beton pada Bangunan Bertingkat Banyak

Penelitian ini membandingkan ketiga jenis kolom tersebut. Studi ini memberikan dasar evaluasi teknis yang kuat mengenai kelebihan dan penerapan kolom komposit dalam desain struktur tahan gempa untuk bangunan tinggi.

3. Studi Perbaikan Elemen kolom struktur Bangunan Gedung Dengan Sistem Kolom komposit

Objek penelitian ini adalah salah satu kantor pelayanan publik di kota Pare-Pare. Dimana struktur bangunan tersebut tersusun dari struktur rangka beton bertulang biasa. Pada salah satu kolom lantai 1 yang menopang lantai 2 dengan tinggi kolom 4 meter telah terjadi retak-retak pada permukaan kolom. Dengan penambahan pelat baja setebal 3,2 mm didapatkan momen nominal dan aksial nominal yang cukup untuk memikul beban kerja.

4. Analisis Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Dengan Kolom Komposit Dan Kolom Non Komposit

Analisis ini membandingkan beberapa aspek terutama kapasitas kolom itu sendiri, kolom komposit pada penelitian ini memiliki kapasitas terhadap momen dan geser yang lebih baik dari pada kolom non komposit.

5. Studi Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Dengan Kolom Beton Bertulang, Kolom Baja, dan Kolom Komposit.

Studi Perbandingan ini menghasilkan model struktur dengan menggunakan kolom dan balok beton bertulang adalah yang paling kaku. Selain karena elastisitas beton yang lebih kecil dibandingkan baja, juga dipengaruhi oleh penggunaan asumsi perletakan jepit.

2.3 Teori Gempa Bumi

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Pengertian tersebut sekaligus menjawab mengapa permukaan tanah menjadi bergetar, yaitu akibat energi gempa yang merambat dari pusat gempa kesegala arah. Sebagaimana diketahui bahwa suatu kekuatan akan terkandung dalam suatu energi, artinya energi gempa akan menghasilkan suatu kekuatan yang dalam hal ini adalah getaran tanah (Pawiradikromo, 2012). Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik.

2.3.1 Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi tektonik lebih sering terjadi dibandingkan semua jenis gempa lainnya. Gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi (kerak bumi). Walaupun kelihatannya diam, akan tetapi lapisan-lapisan bagian permukaan bumi (*litosfer*) yang materialnya bersifat padat, keras, dingin dan selalu bergerak. Ini diakibatkan oleh sejumlah energi yang menekan dan menarik lapisan tersebut sebagai hasil dari proses konveksi yang terjadi pada lapisan dibawahnya (*astenosfer*) yang sifat materialnya lebih cair, lemah dan jauh lebih panas. Lapisan terluar bumi ini bergerak melalui lempeng-lempengnya, sehingga menimbulkan tekanan, tarikan dan geseran pada lempeng-lempeng itu sendiri. Artinya lempeng-

lempeng itu dapat saling bertubrukan (*konvergen*), saling menjauh (*divergen*), dan saling bergeser horizontal (*transform*).

Secara geologis, Indonesia terletak di antara tiga lempeng utama dunia yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara yang rawan gempa bumi. Selain itu, gempa bumi tektonik biasanya jauh lebih kuat getarannya dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuh, maupun gempa bumi buatan. Oleh karena itu, getaran gempa bumi tektonik merupakan gempa yang paling banyak menimbulkan kerusakan terhadap benda atau bangunan di permukaan bumi dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa.

2.4 Struktur Komposit Sebagai Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan tahan gempa merupakan suatu struktur yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang timbul akibat gempa sehingga suatu bangunan dapat bertahan utuh dan tidak mudah roboh. Struktur/bangunan tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa. Bukan struktur yang semata-mata sudah diperhitungkan (dalam perencanaan) dengan beban gempa (beban horizontal) (Tjokrodimuljo K, 2007).

Bangunan yang kuat terhadap gempa bukan berarti mencegah semua kerusakan bangunan bila terjadi gempa yang dahsyat, bangunan seperti ini sulit dilaksanakan karena memerlukan biaya yang sangat mahal. Tujuan utama dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah menyelamatkan nyawa manusia, mengurangi secara maksimal kecelakaan yang akan terjadi dan harta benda serta mengurangi

semaksimal mungkin biaya yang harus dikeluarkan bila harus melakukan perbaikan bangunan yang rusak akibat gempa.

Adapun prinsip-prinsip desain filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut ini (Widodo, 2007) :

1. Pada gempa kecil (*light/minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih diperbolehkan.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Untuk memahami Struktur komposit tahan gempa, kita harus paham dulu filosofi dasarnya. Gempa bumi memberikan beban siklik (bolak-balik) yang ekstrem pada bangunan, yang menuntut struktur memiliki tiga hal utama yaitu kekuatan, kekakuan, dan daktilitas.

Untuk struktur baja sendiri mempunyai kekuatan yang sangat daktil (liat/ulet), artinya ia bisa bengkok dan berubah bentuk secara signifikan sebelum patah. Ini properti terpenting untuk menyerap energi gempa. Baja juga sangat kuat dalam menahan gaya tarik (*tension*). Namun baja rentan terhadap tekuk (*buckling*) saat

menahan tekan (*compression*). Sedangkan beton Bertulang sangat kuat dalam menahan gaya tekan (*compression*) dan memiliki kekakuan (*stiffness*) yang tinggi, sehingga bagus untuk membatasi gerakan bangunan, namun perilaku beton adalah getas (*brittle*) dan lemah terhadap gaya tarik. Ketika digabungkan, baja menutupi kelemahan beton terhadap tarikan, dan beton menutupi kelemahan baja terhadap tekuk. Hasilnya adalah sebuah elemen struktur yang kuat, kaku, dan yang terpenting, sangat daktail.

Untuk mekanisme kinerja struktur komposit tahan terhadap gempa tidak hanya menggabungkan kekuatan, tetapi juga menciptakan mekanisme kinerja baru yang ideal untuk beban seismik, yaitu :

2.4.1 Disipasi Energi (Penyerapan Energi)

Tujuan utama desain tahan gempa bukanlah agar bangunan tidak rusak sama sekali, tetapi agar bangunan tidak runtuh dan bisa menyerap energi gempa secara terkendali. Energi ini diserap melalui proses yang disebut leleh (*yielding*) atau deformasi plastis. Pada struktur komposit, baja didesain untuk "leleh" terlebih dahulu di lokasi-lokasi yang telah ditentukan (disebut sendi plastis atau *plastic hinges*).

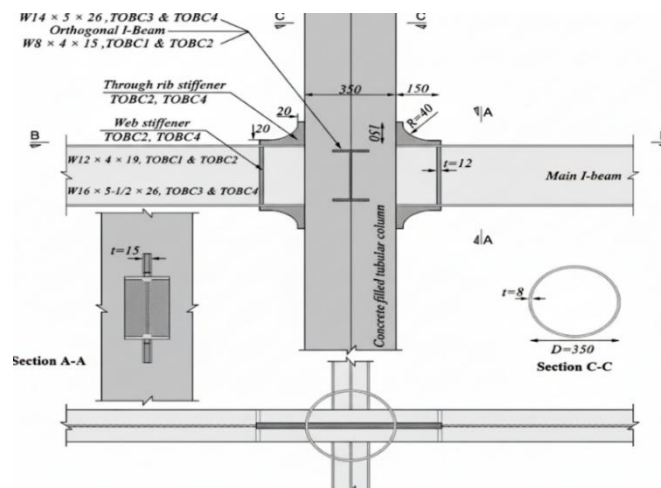
Kemampuan daktail baja memungkinkannya berdeformasi bolak-balik (seperti membengkokkan klip kertas) tanpa patah, sehingga "melelahkan" energi gempa dan mengubahnya menjadi panas. Beton di sekitarnya membantu menstabilkan elemen baja agar proses leleh ini terjadi secara efektif tanpa kegagalan prematur.

2.4.2 Kekakuan dan Pengendalian Goyangan (*Drift*)

Bangunan yang terlalu "lentur" akan bergoyang berlebihan saat gempa, yang dapat merusak elemen *non-struktural* (dinding, kaca) dan menyebabkan ketidakstabilan. Beton dalam sistem komposit memberikan kekakuan awal yang tinggi untuk membatasi *drift* ini pada gempa skala kecil hingga sedang.

2.5 Kolom Komposit

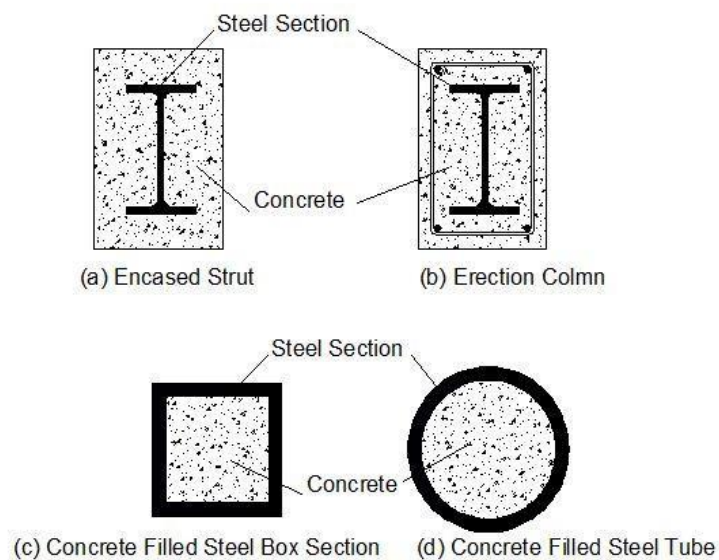
Struktur komposit adalah struktur yang terdiri dari dua atau lebih material berbeda yang digabungkan dan bekerja sama secara struktural untuk memikul beban. Dalam konteks teknik sipil, elemen komposit yang paling umum adalah gabungan antara baja struktural dan beton bertulang. Interaksi antara kedua material ini menghasilkan sistem yang memiliki kekuatan dan kekakuan lebih tinggi dibandingkan jika material tersebut bekerja sendiri-sendiri (Setiawan A, 2016). Agar kedua material dapat bekerja sebagai satu kesatuan, diperlukan adanya mekanisme transfer gaya geser yang efektif di antara keduanya, biasanya menggunakan penghubung geser (*shear connector*). Contoh detail sambungan antara kolom komposit terisi beton dengan balok baja dapat dilihat di gambar 2.1.



Gambar 2.1 Detail sambungan antara kolom komposit dan balok baja
Sumber : Jeddi dkk, 2016.

Menurut SNI 1729-2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, kolom komposit didefinisikan sebagai elemen tekan komposit yang memenuhi persyaratan spesifik dalam standar tersebut. Interaksi komposit antara baja dan beton pada kolom meningkatkan kapasitas pikul beban aksial, kekakuan lentur, dan ketahanan terhadap api.

Awal mula pengembangan elemen kolom komposit yaitu dari profil baja berpenampang I yang dibungkus oleh beton yang tujuan utamanya sebagai pelindung dari api. Ada beberapa tipe dari kolom komposit yang sebagian besar digolongkan ke dalam *encased steel sections* (profil baja yang dibungkus beton) dan *concrete-filled steel sections* (kolom baja berintikan beton). Untuk tipe *encased steel*, profil baja berpenampang I yang dibungkus oleh beton (Gambar 2.2) paling sering dijumpa. (Loh G. H, & Fan S. C, 2004)



Gambar 2.2 Penampang kolom komposit
Sumber : Loh G. H & Fan S. C, 2004

Pada kolom baja berselubung beton (Gambar 2.2 a dan b) penambahan beton dapat menunda terjadinya kegagalan *lokal buckling* pada profil baja serta berfungsi sebagai material penahan api, sementara itu material baja disini berfungsi sebagai penahan beban yang terjadi setelah beton gagal. Sedangkan untuk kolom baja berintikan beton (Gambar 2.2 c dan d) kehadiran material baja dapat meningkatkan kekuatan dari beton serta beton dapat menghalangi terjadinya *lokal buckling* pada baja.

Berdasarkan bentuknya, terdapat dua jenis utama kolom komposit yang umum digunakan dan bisa dilihat pada gambar 2.2 :

1. Profil Baja Terbungkus Beton (*Concrete Encased Steel Section*) yaitu profil baja (biasanya profil IWF atau H) yang seluruhnya terbungkus oleh beton bertulang.
2. Tabung Baja Berisi Beton (*Concrete Filled Steel Tube/CFT*) yaitu profil baja berbentuk tabung (lingkaran atau persegi) yang diisi dengan beton mutu tinggi di bagian dalamnya.

2.5.1 Keunggulan dan Kelemahan Kolom Komposit

Sebagai elemen struktur, kolom komposit menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan kolom beton bertulang atau kolom baja konvensional.

1. Keunggulan

- a. Kapasitas beban tinggi : Kombinasi kekuatan tekan beton dan kekuatan baja menghasilkan kapasitas beban aksial dan lentur yang sangat besar pada penampang yang relatif ramping.

- b. Kekakuan yang baik : Memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan kolom baja dengan ukuran serupa, sehingga dapat mengontrol goyangan (*drift*) bangunan dengan lebih baik.
- c. Ketahanan api yang lebih baik : Beton yang membungkus atau mengisi profil baja berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memperlambat kenaikan temperatur pada baja saat terjadi kebakaran.
- d. Efisiensi konstruksi : Pada beberapa kasus, profil baja dapat didirikan terlebih dahulu dan berfungsi sebagai penyangga sementara selama proses pengecoran, sehingga mengurangi kebutuhan perancah.

2. Kelemahan

- a. Kompleksitas sambungan : Desain dan pelaksanaan sambungan balok-kolom pada sistem komposit lebih rumit dibandingkan sistem non-komposit.
- b. Biaya awal : Biaya material profil baja struktural bisa lebih tinggi dibandingkan hanya menggunakan tulangan baja pada sistem beton bertulang konvensional.
- c. Kontrol Kualitas: Memerlukan pengawasan yang ketat saat proses pengecoran beton, terutama untuk memastikan tidak ada rongga (*void*) pada kolom jenis CFT

2.5.2 Desain Kolom Komposit Berdasarkan SNI 1729-2020

SNI 1729-2020 mengadopsi banyak ketentuan dari standar AISC 360-16. Bab yang secara spesifik membahas desain komposit adalah Bab I. Berikut adalah poin-poin kunci untuk desain kolom komposit yang menahan tekan aksial.

2.5.2.1 Batasan Material

Untuk komponen struktur komposit terbungkus beton, pembatasan yang berikut harus dipenuhi :

1. Luas penampang melintang inti baja harus terdiri atas sedikitnya 1% dari penampang melintang komposit total.
2. Beton pembungkus inti baja harus ditulangi dengan batang tulangan longitudinal menerus dan sengkang pengikat lateral atau spiral.
3. Apabila sengkang pengikat lateral digunakan, minimum dari batang tulangan 10 mm berspasi maksimum 300 mm as ke as, atau batang tulangan 13 mm atau lebih besar dengan spasi maksimum 1400 mm as ke as harus digunakan. Tulangan kawat ulir atau tulangan kawat yang dilas dengan luas ekuivalen diizinkan.
4. Spasi maksimum sengkang pengikat lateral tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi kolom terkecil.
5. Untuk menentukan kekuatan tersedia, beton harus memiliki kekuatan tekan f'_c , minimal 21 MPa, maksimal 69 MPa untuk beton normal, dan minimal 21 MPa, maksimal 41 MPa untuk beton ringan.
6. Tegangan leleh minimum terspesifikasi baja struktural yang digunakan dalam penghitungan kekuatan komponen struktur komposit tidak boleh melebihi 525 MPa.
7. Tegangan leleh minimum terspesifikasi pada batang tulangan yang digunakan dalam penghitungan kekuatan komponen struktur komposit tidak boleh melebihi 550 MPa.

8. Rasio tulangan minimum ρ_{sr} sebesar 0,004 digunakan untuk penulangan longitudinal menerus. Rasio ρ_{sr} adalah:

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

A_g = luas bruto komponen struktur komposit (mm^2)

A_{sr} = luas batang tulangan menerus (mm^2)

2.5.2.2 Kekuatan Tekan (ρ_n)

Ini adalah kapasitas kolom untuk menahan beban tekan murni, langkah langkahnya sebagai berikut :

1. Kekuatan Tekan Plastis (ρ_{no})

Ini adalah kekuatan tekan material jika kolom sangat pendek (tidak mengalami tekuk).

$$\rho_{no} = f_y A_s + f_{ysr} A_{sr} + 0,85 f'_c A_c \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

f_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi penampang baja (MPa)

A_s = luas penampang baja (mm^2)

f_{ysr} = tegangan leleh minimum terspesifikasi batang tulangan (MPa)

A_{sr} = luas batang penampang menerus (mm^2)

f'_c = kekuatan tekan beton terspesifikasi (MPa)

A_c = luas beton (mm^2)

2. Kekakuan Efektif (EI_{eff})

Ini adalah kekakuan lentur gabungan dari baja dan beton untuk menghitung tekuk.

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

E_s = modulus elastisitas baja = (200.000 MPa)

I_s = momen inersia profil baja terhadap sumbu netral elastis penampang komposit (mm^4)

I_{sr} = momen inersia batang tulangan terhadap sumbu netral elastis penampang komposit (mm^4)

C_1 = koefisien untuk perhitungan kekakuan efektif komponen struktur tekan komposit terbungkus beton

$$= 0,25 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0,7 \dots \dots \dots (2.4)$$

E_c = modulus elastisitas beton

I_c = momen inersia penampang beton terhadap sumbu netral elastis penampang komposit (mm^4)

3. Beban Tekuk Elastis (ρ_e)

Ini adalah beban tekuk euler, menggunakan kekakuan efektif.

$$\rho_e = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{(KL)^2} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$(EI)_{eff}$ = kekakuan efektif penampang komposit (N-mm²)

K = faktor panjang efektif

L = panjang tanpa pembreisan lateral komponen struktur (mm)

4. Kuat Tekan Nominal (P_n)

Ini adalah kuat tekan final yang memperhitungkan kelangsingan (perbandingan P_{no} dan P_e).

- Jika $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2,25$ (Tekuk Inelastis) :

$$P_n = P_{no} \left[0,658 \left(\frac{P_{no}}{P_e} \right) \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

- Jika $\frac{P_{no}}{P_e} > 2,25$ (Tekuk Elastis) :

$$P_n = 0,877 P_e \dots\dots\dots(2.7)$$

Kekuatan desain (Terfaktor): $\phi_c P_n$ (dimana $\phi_c = 0,75$)

Dimana :

P_{no} = Kekuatan Tekan Plastis

P_e = beban tekuk kritis elastis (N)

2.5.2.3 Kuat Lentur Nominal (M_n)

Kekuatan lentur (*Moment*) dihitung menggunakan Metode Distribusi Tegangan Plastis. Ini bukan satu formula, tapi sebuah prosedur untuk menemukan Sumbu Netral Plastis (PNA). PNA adalah lokasi di mana total gaya tekan (C) sama dengan total gaya tarik (T).

Keseimbangan Gaya:

$$\diamond C_{total} = T_{total}$$

$$\diamond (C_c + C_s + C_r) = (T_s + T_r) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

C_c = Gaya Tekan Beton

C_s = Gaya Tekan Profil Baja

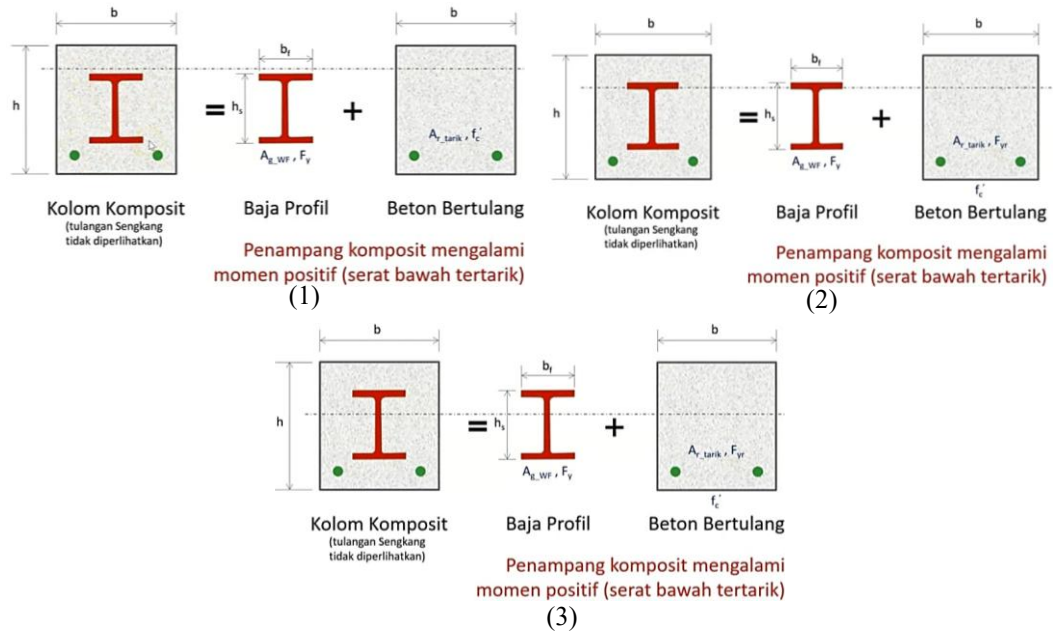
C_r = Gaya Tekan Tulangan

T_s = Gaya Tarik Profil Baja

T_r = Gaya Tarik Tulangan

Langkah-langkah Perhitungan :

1. Asumsikan Lokasi PNA : Asumsikan lokasi untuk sumbu netral plastis dengan beberapa *case* seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Garis netral kondisi plastis (PNA)

- (1) PNA berada pada beton
- (2) PNA berada pada sayap baja profil
- (3) PNA berada pada badan baja profil

Sumber : Salmon, C. G., & Johnson, J. E., 2008

2. Hitung Gaya Komponen :

- a) Gaya Tekan Beton (C_c) :

$$C_c = 0,85 f'_c 0,85 A_{c_{comp}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$A_{c_{comp}}$ = luas area beton yang tertekan.

- b) Gaya Tekan Profil Baja (C_s) :

$$C_s = A_{s_{comp}} \cdot f_y \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

f_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi penampang baja (MPa)

$A_{s_{comp}}$ = luas profil baja di sisi tekan.

c) Gaya Tekan Tulangan (C_r) :

$$C_r = A_{s_{comp}} \cdot f_{yr} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

f_{yr} = tegangan leleh minimum terspesifikasi tulangan (Mpa)

$A_{s_{comp}}$ = luas tulangan di sisi tekan.

d) Gaya Tarik Profil Baja (T_s)

$$T_s = A_{s_{tens}} \cdot f_y \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

f_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi tulangan (Mpa)

$A_{s_{tens}}$ = luas profil baja di sisi tarik.

e) Gaya Tarik Tulangan (T_r):

$$T_r = A_{s_{tens}} \cdot f_{yr} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

f_{yr} = tegangan leleh minimum terspesifikasi tulangan (Mpa)

$A_{s_{tens}}$ = luas tulangan di sisi Tarik.

3. Cek Keseimbangan : Jumlahkan semua gaya tekan ($\sum C$) dan semua gaya tarik ($\sum T$).

a) Jika $\sum C = \sum T$, maka lokasi PNA sudah benar.

b) Jika tidak, ulangi langkah 1 dengan lokasi PNA yang baru (metode *trial and error*).

4. Hitung Momen Nominal (M_n)

Setelah PNA ditemukan, (M_n) adalah jumlah momen dari semua komponen gaya (C_c, C_s, C_r, T_s, T_r) terhadap PNA tersebut.

$$M_n = (C_c y_c) + (C_s y_s) + (C_r y_r) + (T_s y_{st}) + (T_r y_{rt})$$

$$M_n = \sum(F_i y_i) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

y = jarak lengan momen dari tiap gaya ke PNA

Kekuatan Desain (Terfaktor): $\phi_b M_n$ (dimana $\phi_b = 0,90$)

2.5.2.4 Kuat Geser Nominal (V_n)

Menurut SNI 1729-2020 (Pasal I5.2), untuk kolom baja terbungkus beton, kuat geser nominal hanya diambil dari profil bajanya saja. Kontribusi beton dan sengkang diabaikan.

$$V_n = V_s$$

Perhitungan kuat geser profil baja (V_s) mengacu ke Bab G SNI 1729-2020 :

$$V_n = 0,6 f_y A_w C_v \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

A_w = Luas badan profil baja (tinggi x tebal badan).

C_v = Koefisien geser badan (tergantung kelangsingan badan, h / T_w).

Kekuatan desain (terfaktor): $\phi_v V_n$ (dimana $\phi_v = 0,90$)

2.5.2.5 Interaksi Tekan dan Lentur (Gaya Aksial + Momen)

Ini adalah formula untuk memeriksa kolom yang menerima beban aksial (P_r) dan momen lentur (M_r) secara bersamaan.

a. Jika $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ (Dominan Tekan)

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2.16)$$

b. Jika $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$ (Dominan Lentur)

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

P_r = Kuat aksial perlu (beban terfaktor P_u)

P_c = Kuat aksial desain ($\phi_c P_n$)

M_r = Kuat lentur perlu (beban terfaktor M_u)

M_c = Kuat lentur desain ($\phi_b M_n$)

2.6 Pembebanan Untuk Perencanaan Pada Bangunan

Suatu struktur gedung yang dibangun harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan agar struktur bangunan menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban-beban terfaktor. Pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727-2020 dan SNI 1726-2019.

2.6.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dasar (SNI 1727-2020 pasal 4.2.2) adalah sebagai berikut:

1. 1,4D
2. 1,2D+ 1,6L+0,5 (Lr atau S atau R)
3. 1,2D+1,6 (Lr atau R) + (Latau 0,5W)
4. 1,2D+1,0W+L+0,5 (Lr atau S atan R)
5. 0,9D+ 1,0W

Kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik adalah sebagai berikut:

1. 1,2D+Ev + Eh + L
2. 0,9D-Ev + Eh

Kombinasi pembebanan bila pengaruh beban seismik dengan faktor kuat lebih adalah sebagai berikut:

1. $1,2D+Ev + Emh + L$
2. $0,9D-Ev+Emh$

Untuk pengaruh beban seismik E_h dan E_v harus ditentukan sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.4.2.1 dan pasal 7.4.2.2.

$$E_h = \rho Q_e \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

Q_e = pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p . Jika disyaratkan dalam 0 dan 0, pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

ρ = faktor redundansi, seperti didefinisikan dalam 0.

$$E_v = 0,2 S_{DS}D \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode pendek yang diperoleh dari 0.

D = pengaruh beban mati.

Faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Untuk penggunaan nilai redundansi dapat dilihat pada SNI 1726-2019 pasal 7.3.4.

2.6.2 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing dan komponen arsitektural dan struktur lain serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Besaran beban mati untuk bangunan gedung dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tabel 2.1 Berat sendiri bahan bangunan

No.	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1	Baja	7850	Kg/m ³
2	Beton	2400	Kg/m ³

Sumber: SNI 1727-2020

Tabel 2.2 Berat tambahan komponen gedung

No.	Komponen Bangunan	Beban	Satuan
1	Plafon penggantung	18	Kg/m ²
2	Adukan/cm dari semen	21	Kg/m ²
3	Adukan/cm dari pasir	16	Kg/m ²
4	Penutup lantai dari keramik	24	Kg/m ²
5	Instalasi Mekanikal & Elektrikal (MEP)	60	Kg/m ²
6	Waterproof	4	Kg/m ²
7	Pasangan bata setengah batu	250	Kg/m ²

Sumber: SNI 1727-2020

2.6.3 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunar gedung atau struktur lain yang tidak termasuk bahan konstruksi dan beban lingkungan. Seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Jika ingin mereduksi beban hidup merata terdapat pada SNI 1727-2020 pasal 4.7 namun ada syarat (SNI 1727-2020 pasal 4.7.3) jika $L \geq 4,79 \text{ kN/m}^2$, lalu garasi mobil penumpang dan tempat pertemuan tidak boleh direduksi. Beban hidup yang bekerja pada struktur yaitu beban hidup dengan fungsi kantor. Berat beban hidup disajikan dalam tabel 2.13.

Tabel 2.3 Beban hidup (LL)

NO	RUANGAN	Beban (kN/m ²)
1	Ruang Panel	4,79
2	Ruang Genset	6
3	Ruang Kantor	2,4
4	Ruang Pertemuan	4,79
5	Toilet	2,87
6	Tangga	4,79
7	Ruang Arsip	7,18
8	Mushola	4,79
9	Ruang Kantor	2,4
10	Loby	4,79

Sumber : SNI 1727-2020

2.6.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur itu berdiri. Pembebanan struktur beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019. Analisis beban gempa terdapat tiga cara, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam dan analisis riwayat respons seismik. Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur, dan elemen-elemen fondasi harus sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

2.7 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2019

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempanya. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini ialah SNI 1726:2019 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2012. Dimana terdapat perubahan dalam penentuan koefisien situs F_a dan F_v serta perubahan perubahan nilai S_s dan S_1 yang ada di beberapa kota di Indonesia. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

2.7.1 Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non-gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none">- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan- Fasilitas sementara- Gudang penyimpanan- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I

Tabel 2.4 Lanjutan	
Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi - , serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 	IV

<ul style="list-style-type: none"> - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV
--	----

Sumber : SNI 1726-2019

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai tabel 2.4 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut tabel 2.5. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.5 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1.00
III	1.25
IV	1.50

Sumber : SNI 1726-2019

2.7.2 Klasifikasi Situs dan Parameter

Prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 2.6, berdasarkan profil tanah

lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam tabel 2.6 dibawah ini :

Tabel 2.6 Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik- situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: – Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangatsensitif, tanah tersementasi lemah – Lempung sangat organik dan/atau – Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas) $PI > 75$ Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H – > 35 m dengan $S_u < 50$ kPa		
Catatan : N/A = tidak dapat dipakai			

Sumber : SNI 1726-2019

2.7.3 Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 15 yang tertera dalam SNI 1726-2019 dengan kemungkinan 2 %

terlampau dalam 50 tahun (*MCER*, 2 % dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0.04g$ dan $S_s \leq 0.15 g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa *MCER* di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0.2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots(2.20)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa *MCER* terpetakan untuk periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa *MCER* terpetakan untuk periode 1,0 detik.

F_a = Koefisien situs periode pendek

F_v = Koefisien situs periode 1,0 detik

Tabel 2.7 Koefisien situs perioda pendek (F_a)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T= 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	SS ^(a)					

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 2.8 Koefisien situs perioda 1,0 detik (F_v)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.6$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
SD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
SF	SS ^(a)					

Sumber : SNI 1726-2019

2.7.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_s = \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (2.22)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots \dots \dots (2.23)$$

2.7.5 Parameter Perencanaan Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.10 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2.24)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.25)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

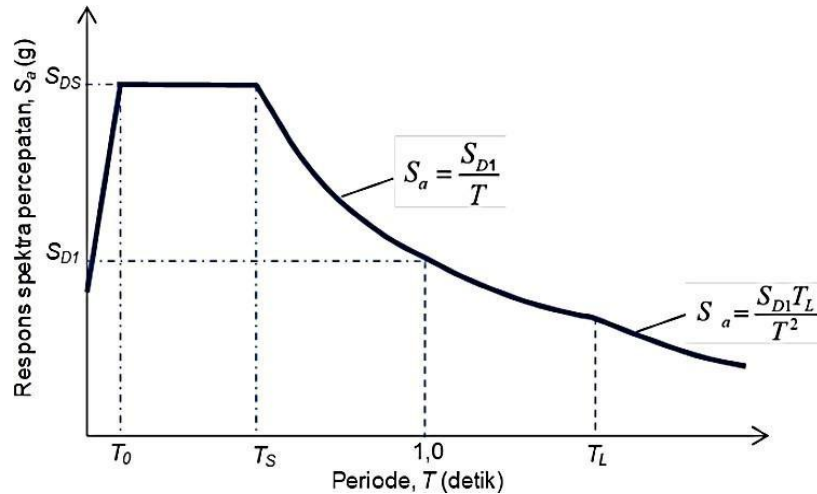
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada contoh Gambar 2.4



Gambar 2.4 Spektrum respons desain

Sumber : SNI 1726-2019

Pada gambar 2.4, Kurva ini merepresentasikan hubungan antara periode getar alami struktur (T) dengan percepatan respons spektral (S_a) yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan. Pada sumbu vertikal melambangkan S_a (Respons Spektra Percepatan). Ini menunjukkan seberapa besar percepatan maksimum yang akan dialami bangunan akibat gempa. Semakin tinggi nilai S_a , maka semakin besar gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Pada sumbu horizontal melambangkan T (Periode) dalam satuan detik. Ini adalah waktu yang dibutuhkan struktur untuk melakukan satu getaran penuh.

2.7.6 Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R, C_d, Ω_0)

2.7.6.1 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti prosedur ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} .

Tabel 2.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 2.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	I atau II atau III
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2019

2.7.6.2 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang telah ditetapkan pada SNI 1726-2019 Pasal 7.2 struktur penahan beban gempa tentang, setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang telah ditetapkan. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2 tentang “Struktur Penahan Beban Gempa”, sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter berikut :

- Faktor koefisien modifikasi respon (R)
- Faktor kuat lebih sistem (C_d)
- Faktor pembesaran defleksi (Ω_0)
- Faktor batasan tinggi sistem struktur

Tabel 2.11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons (R)	Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)	Faktor pembesaran defleksi (C_d)	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen (Struktur komposit)								
1. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5.5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	3.5	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2.5	TB	TI	TI	TI	TI

Catatan : TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan.

Sumber : SNI 1726-2019

2.7.7 Evaluasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

2.7.7.1 Analisis Respon Spektrum Ragam

Metode analisis respon spektrum ragam mendefinisikan bahwa simpangan struktur yang terjadi merupakan penjumlahan dari simpangan masing-masing ragam getarnya. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja (Pamungkas A, & Hariant E, 2017). Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*square root of the sum of squares/ CQC*) dan kombinasi kuadrat lengkap (*complete quadratic combination/ SRSS*).

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90% (SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1). Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode kombinasi kuadrat lengkap (*complete quadratic combination/CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan akar kuadrat jumlah kuadrat (*square root of the sum of squares/SRSS*)

2.7.7.2 Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari.

Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Budiono B, & Supriatna L, 2011).

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 tentang “Penentuan Periode“, periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisa yang teruji. Periode struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum. Nilai-nilai tersebut ditentukan dalam persamaan dibawah ini :

1. Periode fundamental pendekatan (T_a):

$$T_a = C_t \cdot hn^x \dots\dots\dots(2.27)$$

2. Periode fundamental pendekatan minimum ($T_{a_{min}}$) :

$$T_{a_{min}} = C_{nt} \cdot h^x \dots\dots\dots(2.28)$$

3. Periode fundamental pendekatan maksimum ($T_{a_{maks}}$) :

$$T_{a_{maks}} = C_u \cdot T_{a_{min}} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana:

$T_{a_{min}}$ = Nilai batas bawah periode bangunan

$T_{a_{maks}}$ = Nilai batas atas periode bangunan

hn = Ketinggian struktur di atas dasar (m) sampai tingka tertinggi struktur (m)

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.12

x = Ditentukan dari Tabel 2.13

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.13

Tabel 2.12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik (S_{D1})	Koefisien (C_u)
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x .

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismic:		
• Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
• Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0.75

Sumber : SNI 1726-2019

Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem pemikul gaya seismic terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m :

$$T_a = 0,1N \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana: N = jumlah tingkat

2.7.7.3 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismik yang ditentukan

W = Berat seismik efektif

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, untuk mendapatkan koefisien C_s digunakan persamaan-persamaan yang terdapat pada persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.32)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 2.33 tidak perlu melebihi berikut ini :

Untuk $T \leq T_L$, maka C_s max adalah :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.33)$$

Untuk $T > T_L$, maka C_s max adalah :

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dan nilai C_s minimum di buat dalam persamaam berikut :

$$C_s \text{ min} = 0.044 S_{DS} \cdot I_e \geq 0.01 \dots\dots\dots(2.35)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0.6 g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s \text{ min} = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain untuk perioda 0.2 detik

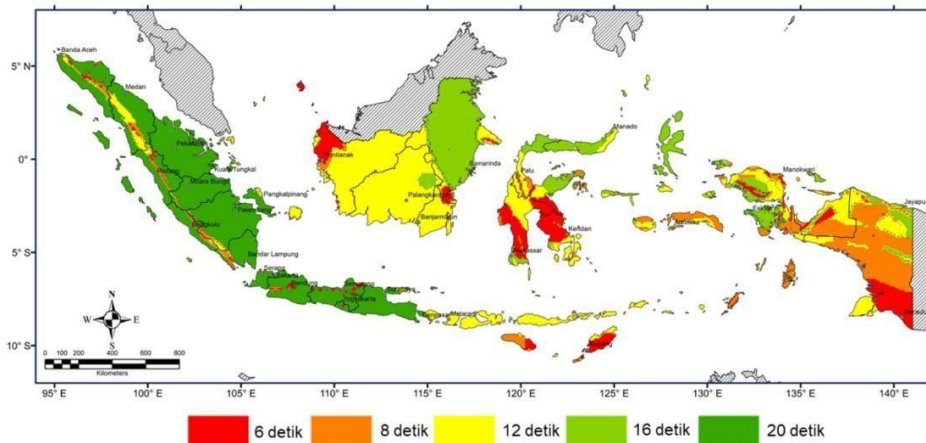
S_1 = Parameter percepatan respon spektrum desain untuk perioda 1 detik

R = Faktor modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.4

T = Periode fundamental struktur (detik)

T_L = Peta transisi periode panjang



Gambar 2.5 Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia.
 Sumber : SNI 1726-2019

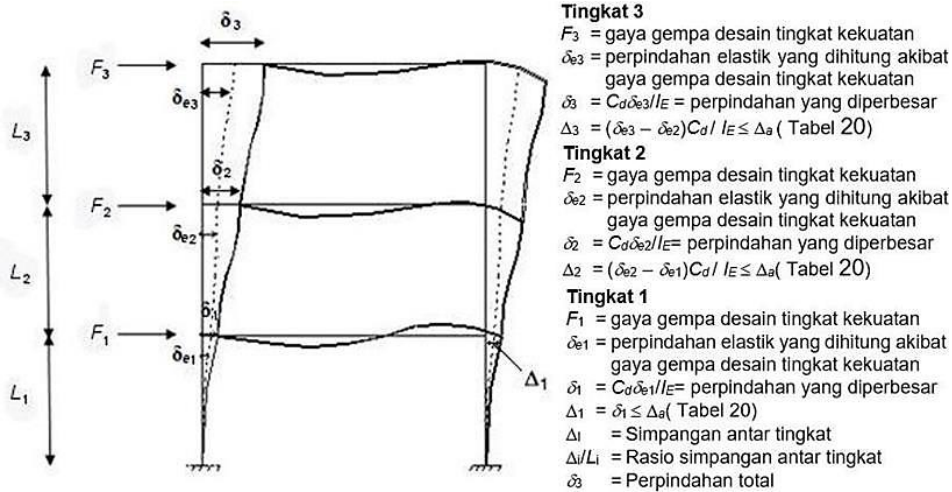
Dari gambar 2.5 diatas, merupakan gambar dari Peta transisi periode panjang (T_L), Parameter T_L adalah periode transisi (dalam satuan detik) yang menandai batas antara wilayah kecepatan konstan dan wilayah perpindahan konstan pada kurva spektrum respons desain. Untuk struktur dengan waktu getar alami (T)

yang sangat panjang (struktur tinggi atau sangat fleksibel), parameter ini sangat menentukan besarnya gaya gempa yang harus ditahan. Berdasarkan warna pada peta tersebut, wilayah Indonesia dibagi menjadi beberapa zonasi waktu transisi :

1. Hijau Tua (20 detik): Meliputi hampir seluruh Pulau Sumatera, Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara. Ini berarti pada wilayah ini, transisi ke perpindahan konstan terjadi pada periode 20 detik.
2. Hijau Muda (16 detik): Terlihat di sebagian wilayah Kalimantan (bagian Timur dan Utara) serta sebagian kecil wilayah lainnya.
3. Kuning (12 detik): Mendominasi wilayah Kalimantan Tengah dan Barat, serta sebagian besar Sulawesi.
4. Oranye (8 detik) & Merah (6 detik): Tersebar di wilayah Papua dan sebagian kecil Maluku/Sulawesi Utara. Wilayah ini memiliki periode transisi yang lebih pendek.

2.7.7.4 Simpangan (*Drift*) Akibat Gaya Gempa

Berdasarkan peraturan yang ada di SNI 172-2019 pasal 7.8.6, Penentuan *story drift*/simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 2.6). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2.6 Penentuan simpangan antar lantai.

Sumber : SNI 1726-2019

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1A atau 1B pada Tabel 13 pasal 7.3.3.4, simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar lantai, nilainya harus diperbesar dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = Simpangan di tingkat-x yang disyaratkan

I_e = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a), seperti didapatkan dari Tabel 2.14. Tabel ini digunakan untuk membatasi simpangan antar tingkat (*Story Drift*) agar tidak melebihi batas aman (Δ_a). Tujuannya adalah mencegah kerusakan struktural yang parah, mencegah

kerusakan pada elemen non-struktural (kaca pecah, dinding retak, plafon jatuh), serta menjamin kenyamanan dan keselamatan penghuni.

Tabel 2.14 Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Catatan: h_{sx} = Tinggi tingkat yang bersangkutan

Sumber : SNI 1726-2019 pasal 7.12.1 tabel 20