

# DESAIN BANGUNAN TAHAN GEMPA

## BAB I PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada di daerah pertemuan tiga pelat/lempeng tektonik bumi, yaitu lempeng Samodera Hindia (Indo Australia), Eurasia, dan Philipine. Selain itu, disebelah timur Indonesia juga diapit oleh lempeng Pacific. Oleh karena itu hampir setiap tahun terjadi bencana akibat gempa bumi di berbagai tempat di Indonesia yang telah menewaskan dan menciderai ribuan orang. Selain itu gempa juga telah menimbulkan kerugian yang sangat besar berupa kerusakan prasarana dan bangunan. Guna mengantisipasi terjadinya bencana serupa di kemudian hari perlu upaya serius untuk meningkatkan kualitas konstruksi bangunan rumah di Indonesia. Ini merupakan suatu tuntutan logis yang harus ditindak lanjuti sebagai konsekuensi hidup di daerah yang rawan gempa.

Salah satu cara yang dapat dilakukan dalam rangka meningkatkan kemampuan teknis masyarakat bidang pembangunan rumah adalah dengan cara menyediakan desain rumah yang tahan terhadap terhadap gempa. Buku ini bermaksud memberikan pedoman dalam mendesain bangunan tahan gempa dan memperbaiki kerusakan bangunan yang terjadi akibat gempa bumi. Desain yang dimaksud adalah desain untuk bangunan rumah sampai dengan 3 lantai, dengan memperhitungkan kondisi seismik, geoteknik dan geologis terkini. Desain ini nantinya diharapkan dapat menjadi alternatif perhitungan struktur, yang merupakan salah satu persyaratan teknis pembangunan rumah, dan dapat menjadi suatu panduan teknis untuk menuntun proses pelaksanaan serta proses pengawasan kualitas bangunan rumah sehingga dapat dihasilkan kualitas bangunan rumah yang tahan gempa. Proses perancangan memperhitungkan data seismik terkini dengan mempertimbangkan 3 kondisi tanah, yaitu tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras.

Secara umum kerusakan bangunan disebabkan oleh kualitas struktur bangunan yang tidak memenuhi standar persyaratan teknis bangunan tahan gempa. Bangunan rumah tak bertingkat, yang tergolong sebagai non-struktur, dibangun tanpa dukungan hitungan teknis dan hanya mengandalkan pengalaman lapangan. Pada bangunan bertingkat, yang tergolong sebagai bangunan struktur, proses pembangunannya harus didukung dengan perhitungan teknis yang memadai dengan melibatkan pihak-pihak yang memiliki kemampuan bidang konstruksi bangunan. Namun kenyataan menunjukkan bahwa sebagian besar praktek pembangunan rumah di lapangan tanpa disertai dengan dukungan teknis serta keterlibatan dari ahli konstruksi bangunan secara memadai. Terdapat suatu indikasi yang kuat dimana masyarakat enggan untuk memanfaatkan jasa konsultan teknis dalam proses pembangunan rumah. Hal ini terutama berkaitan dengan biaya konsultansi yang dianggap masih relatif mahal.

Belajar dari pengalaman itu, maka sangat diperlukan suatu pedoman yang sangat mudah dalam membuat bangunan atau rumah tinggal yang baik dan tahan terhadap gempa, yang dapat dipergunakan oleh seluruh masyarakat, baik yang mengetahui konstruksi bangunan maupun tidak. Disamping itu harganya relatif murah dan terjangkau khususnya bagi kelompok masyarakat yang berpenghasilan rendah, sangat rendah dan kelompok berpenghasilan informal, akan tetapi tetap memenuhi persyaratan kesehatan, keamanan, dan kenyamanan.

Untuk mempermudah pemahaman, buku ini telah disusun dengan urutan sebagai berikut :

Pada Bab 1 berisi uraian singkat isi buku, dilanjutkan Bab 2 berisi tentang pengetahuan umum tentang gempa bumi yang berupa mekanisme kejadian gempa bumi dan parameter yang biasa dipergunakan untuk mengukur skala gempa bumi.

Bab 3 berisi tentang prinsip-prinsip utama dalam membangun bangunan tahan gempa, yang berupa filosofi bangunan tahan gempa, konsep dasar, tinjauan arsitektuk, persyaratan material yang baik, dan teknis pelaksanaan konstruksi yang baik.

Bab 4 berisi tentang teknis pemasangan sambungan-sambungan tulangan agar aman dan kuat terhadap gempa bumi, yang berupa pertemuan antara : balok dan kolom, kolom dan ringbalk, kolom dan sloof, plat lantai dan balok, balok anak dan balok induk, ringbalk atas dan kolom pinggir, balok lantai dan kolom pinggir, balok lantai dan kolom tengah, sambungan tulangan di tengah bentang, serta pengangkuran sloof ke fondasi.

Bab 5 berisi tentang penjelasan analisis pembebanan yang dipergunakan didalam perhitungan, serta peraturan yang dipergunakan dalam mendesain bangunan.

Bab 6 berisi tentang besarnya beban yang dipergunakan, yaitu berupa : beban gempa, beban mati, beban hidup, dan beban angin. Disamping itu juga dijelaskan model bangunan yang didesain pada buku ini.

Bab 7 berupa hasil perencanaan atau hasil desain struktur rumah tahan gempa yang berupa dimensi elemen (kolom, sloof, balok, ring balk, balok miring, balok anak) dan jumlah tulangan beserta diameternya, untuk bangunan satu lantai, dua lantai dan tiga lantai, dengan jumlah bentang satu, dua, dan tiga, untuk wilayah gempa 4 atau lebih kecil pada kondisi tanah keras, sedang dan lunak.

Bab 8 berisi tentang perbaikan bangunan yang mengalami kerusakan, baik yang diakibatkan oleh gempa ataupun akibat yang lain.

## BAB II PENGETAHUAN UMUM TENTANG GEMPA BUMI

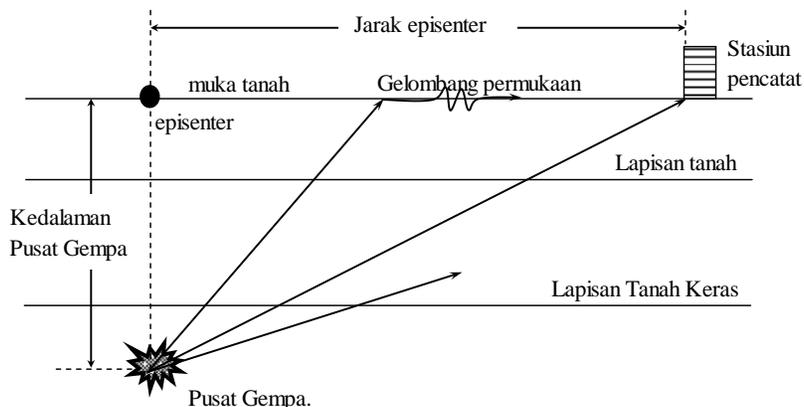
### 2.1. Mekanisme Kejadian Gempa Bumi.

Didalam Teori Tektonika Lempeng (*Plate Tectonic*) bagian bumi tersusun oleh *litosfer* yang terdiri dari kerak samudra dan kerak benua. Secara keseluruhan litosfer dibagi lagi menjadi beberapa satuan yang disebut dengan lempeng (*plate*). Lempeng-lempeng tersebut bergerak satu terhadap yang lain sehingga pada batas lempeng terjadi gempa bumi. Sumber gerak lempeng tektonik tersebut diakibatkan oleh adanya lapisan kulit bumi dengan ketebalan  $\pm 100$  km mempunyai temperatur relatif jauh lebih rendah dibanding dengan lapisan dalamnya (mantel dan inti bumi), sehingga terjadi aliran konveksi dimana massa dengan temperatur tinggi mengalir ke daerah temperatur rendah atau sebaliknya. Perbedaan ini menyebabkan adanya gangguan keseimbangan sehingga menimbulkan terjadinya arus konveksi panas yang selanjutnya menyeret lempeng-lempeng kulit Bumi untuk bergerak mengalir mengapung di atas *Astenosfera*.

Berdasarkan *seismology*, gempa tektonik dijelaskan oleh “Teori Lapisan Tektonik”. Teori ini menyebutkan bahwa lapisan bebatuan terluar yang disebut lithosphere mengandung banyak lempengan. Di bawah lithosphere ada lapisan yang disebut asthenosphere, lapisan ini seakan-akan melumasi bebatuan tersebut sehingga mudah bergerak. Di sekitar lokasi pertemuan lempeng ini akumulasi energi tabrakan terkumpul sampai suatu titik dimana lapisan bumi tidak lagi sanggup menahan tumpukan energi sehingga lepas berupa gempa bumi. Pelepasan energi sesaat ini menimbulkan berbagai dampak terhadap bangunan karena percepatan gelombang seismik, tsunami, longsor, dan liquefaction.

### 2.2. Parameter Gempa Bumi

Apabila terjadi gempa bumi, maka pertama-tama yang merasakan getaran adalah tanah disekeliling pusat gempa. Getaran akibat gempa kemudian disebarkan kesegala penjuru sampai pada ke lokasi pencatat gempa di permukaan tanah. Selama getaran menjalar dari pusat gempa sampai ke permukaan tanah, maka faktor tanah sebagai penghantar getaran mempunyai peran yang sangat penting. Secara skematis, energi gempa tersebut dapat digambarkan dengan Gambar 2.1.



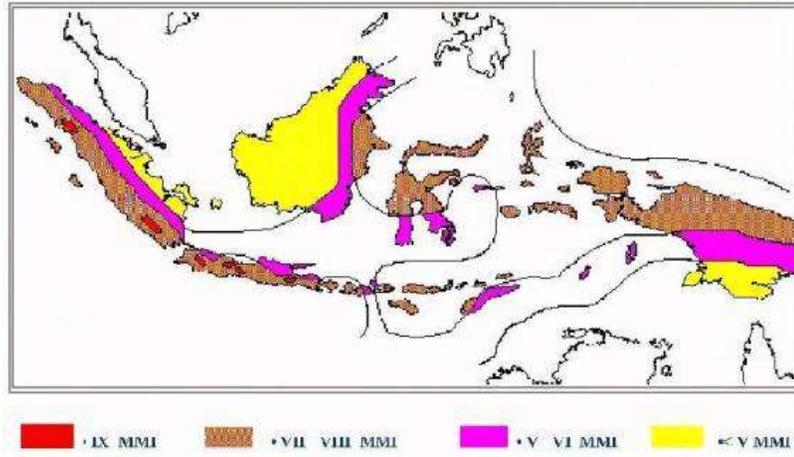
Gambar 2.1. Rambatan Gelombang Gempa.

Tempat dimana gelombang energi gempa berasal secara umum dinamakan *pusat gempa*. Pusat gempa umumnya berada di bawah tanah dengan kedalaman tertentu. Sedangkan tempat permukaan tanah tepat di atas pusat gempa disebut *episenter*. Kedalaman pusat gempa dapat diketahui dengan mengestimasi atau mengukur kedalaman dari episenter sampai dengan pusat gempa. Jarak dari episenter sampai dengan stasiun pencatat gempa umumnya dinamakan *jarak episenter*.

Ada dua besaran yang biasa digunakan untuk mengukur kekuatan gempa bumi, yaitu : Skala Richter dan Skala dari Marcalli yang telah dimodifikasi (MMI, *Modified Mercalli Intensity*). Skala *Richter* atau *Richter Magnitude* yaitu suatu ukuran dari besarnya energy yang dilepaskan oleh sumber/pusat gempa (*hypocentre*). Sedangkan MMI adalah besar kecilnya getaran permukaan di tempat bangunan berada. Skala MMI tersebut dibuat berdasarkan pengamatan manusia terhadap derajat kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa terhadap bangunan, yang terdiri dari 12 skala Intensitas yaitu skala :

- I. Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan luar biasa oleh beberapa orang.
- II. Getaran dirasakan oleh beberapa orang, benda-benda ringan yang digantung bergoyang.
- III. Getaran dirasakan nyata dalam rumah, terasa getaran seakan-akan ada truk berlalu.
- IV. Pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, diluar oleh beberapa orang terbangun, gerabah pecah, jendela/pintu gemerincing dan dinding berbunyi.
- V. Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk, orang banyak terbangun, gerabah pecah, jendela rusak, barang-barang terpelanting, tiang-tiang dan lain-lain barang besar tampak bergoyang, bandul lonceng dapat berhenti.
- VI. Getaran dirasakan oleh semua penduduk kebanyakan semua terkejut dan lari keluar, plester dinding jatuh dan cerobong asap pada pabrik rusak, kerusakan ringan.
- VII. Tiap-tiap orang keluar rumah, kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan bangunan dan kontruksi yang baik, sedangkan pada bangunan dengan kontruksi kurang baik terjadi retak-retak kemudian cerobong asap pecah, terasa oleh orang yang naik kendaraan.
- VIII. Kerusakan ringan pada bangunan dengan kontruksi yang kuat, retak-retak pada bangunan yang kuat, dinding dapat lepas dari rangka rumah, cerobong asap dari pabrik-pabrik dan monumen-monumen roboh, air menjadi keruh.
- IX. Kerusakan pada bangunan yang kuat rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus banyak retak-retak pada bangunan yang kuat, rumah tampak agak berpindah dari fondasinya, pipa-pipa dalam rumah putus.
- X. Bangunan dari kayu yang kuat rusak, rangka-rangka rumah lepas dari fondasinya, tanah terbelah, rel melengkung, tanah longsor ditiap-tiap sungai dan ditanah-tanah yang curam.
- XI. Bangunan-bangunan hanya sedikit yang tetap berdiri. Jembatan rusak, terjadi lembah, pipa dalam tanah tidak dapat dipakai sama sekali, tanah terbelah, rel melengkung sekali.
- XII. Hancur sama sekali, gelombang tampak pada permukaan tanah, pemandangan menjadi gelap, benda-benda terlempar ke udara.

Gambar Peta berdasarkan intensitas getaran yang dirasakan dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Intesitas Getaran MMI

## **BAB III**

### **PRINSIP UTAMA BANGUNAN TAHAN GEMPA**

#### **3.1. Filosofi Bangunan Tahan Gempa**

Pengertian rumah tahan gempa bukan berarti suatu bangunan rumah yang tak akan rusak/robok jika terlanda gempa. Gempa adalah kekuatan alam yang kekuatannya tak dapat diduga sehingga tidak rasional untuk membangun rumah yang benar-benar tahan terhadap gempa berapapun intensitasnya. Suatu batasan-batasan teknis diperlukan dengan tetap mengedepankan aspek keamanan, namun secara ekonomi masih rasional. Batasan-batasan tersebut selanjutnya diadopsi dalam persyaratan teknis bangunan tahan gempa. Secara umum filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

1. Bila terjadi Gempa Ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, genting dan langit-langit jatuh, kaca pecah, dsb) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dsb).
2. Bila terjadi Gempa Sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada elemen non-strukturalnya akan tetapi elemen strukturalnya (misalnya: fondasi, dinding beton struktur, kolom struktur, balok struktur) tidak boleh rusak.
3. Bila terjadi Gempa Besar, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada elemen non-strukturalnya maupun elemen strukturalnya, tetapi tidak sampai roboh, sehingga penghuni bangunan masih mempunyai waktu untuk keluar menyelamatkan diri.

#### **3.2. Konsep Dasar**

Konsep bangunan tahan gempa pada dasarnya adalah upaya untuk membuat seluruh elemen rumah menjadi satu kesatuan yang utuh, yang tidak lepas/runtuh akibat gempa sehingga beban dapat ditanggung dan disalurkan secara bersama-sama dan proposional. Penerapan konsep tahan gempa antara lain dengan cara membuat sambungan yang cukup kuat diantara berbagai elemen tersebut serta pemilihan material dan pelaksanaan yang tepat. Penggunaan bahan yang baik dan mempunyai mutu sesuai yang disyaratkan merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam membuat rumah tahan gempa. Untuk mendapatkan mutu bangunan yang baik, pengerjaan rumah tahan gempa, harus mengikuti prosedur-prosedur yang baik dan benar.

#### **3.3. Tinjauan Arsitektur**

Bentuk bangunan yang baik adalah berbentuk simetris (bujursangkar, segi empat) dan mempunyai perbandingan sisi yang baik yaitu *panjang < 3 kali lebar*, ini dimaksudkan untuk mengurangi gaya puntir yang terjadi pada saat terjadi gempa. Untuk bangunan yang panjang dapat dilakukan pemisahan ruangan (dilatasi) sehingga dapat mengurangi efek gempa. Juga harus diperhatikan bukaan akibat jendela dan pintu tidak boleh terlalu besar. Apabila bukaan itu besar akan terjadi pelemahan pada jendela dan pintu tersebut.

#### **3.4. Material**

Penggunaan bahan yang baik dan mempunyai mutu sesuai yang disyaratkan merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam membuat rumah tahan gempa. Untuk mendapatkan

mutu bangunan yang baik, pengerjaan rumah tahan gempa harus mengikuti prosedur-prosedur yang baik dan benar.

#### 3.4.1. Batu Kali

Syarat batu kali yang baik adalah :

- Bermutu baik, keras dan bersiku.
- Bersih dari kotoran.
- Mempunyai ukuran yang proposional (10 – 15 cm).

#### 3.4.2. Pasir

Syarat pasir yang baik adalah :

- Mempunyai diameter antara 0,25 – 5 mm.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% atau pun kotoran lainnya yang dapat mengganggu kualitas bangunan.
- Jika digunakan pasir yang diambil dari laut harus dicuci terlebih dahulu dan dipastikan tidak bersifat asin/garam yang dapat merusak pembesian.
- Mempunyai butiran tajam dan keras.
- Tidak dalam keadaan basah, menggumpal dan lengket.

#### 3.4.3. Kerikil

Kerikil yang digunakan terbagi dua, yaitu kerikil alam yang berasal dari sungai dan kerikil batu pecah yang merupakan hasil produksi dari mesin stone crusher. Kerikil batu pecah mempunyai mutu yang lebih baik dari pada kerikil alam, hal ini disebabkan kerikil tersebut bersudut sehingga menghasilkan ikatan yang lebih baik dengan mortal.

Syarat kerikil yang baik adalah:

- Diameter minimum adalah 5 mm sedangkan diameter maksimum adalah 20 mm.
- Bermutu baik, keras, kasar dan bersudut
- Bersih dari lumpur (dibawah 1%) atau pun kotoran lainnya yang dapat mengganggu kualitas bangunan.
- Mempunyai perbandingan yang proposional antara diameter yang berbeda (gradasi).

#### 3.4.4. Semen

Semen yang digunakan adalah Semen Portland atau yang biasa dikenal sebagai semen tipe I.

Syarat semen yang baik adalah :

- Karung pembungkus semen dalam keadaan baik dan tidak koyak;
- Tersimpan dalam keadaan yang baik dan tidak terkena pengaruh cuaca dan kelembaban.
- Tidak mengeras, bergumpal-gumpal atau basah.

#### 3.4.5. Tulangan Baja

Tulangan baja (besi) secara umum terbagi dua, tulangan ulir dan tulangan polos. Tulangan ulir mempunyai kualitas yang lebih baik serta mempunyai ikatan yang lebih kuat dengan mortar. Tulangan merupakan bagian yang terpenting untuk membuat strutur beton bertulang mempunyai

sifat daktail yang baik. Seperti diketahui beton hanya mampu menerima kuat tarik sekitar 10% dari kuat tekan, sehingga sebagian besar kuat tarik akan di ambil alih oleh tulangan. Untuk itu kualitas tulangan harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Mutu tulangan baja yang digunakan minimal adalah U-24 yang mempunyai tegangan leleh (kuat tarik) minimum 2400 kg/cm<sup>2</sup> (240 MPa.).

Syarat tulangan yang baik adalah :

- Tidak boleh berkarat, retak dan bengkok.
- Bukan merupakan tulangan bekas.
- Terlindung dari pengaruh cuaca dan kelembapan.
- Mempunyai diameter dan luas area yang sesuai dengan permintaan.

#### 3.4.6. Batu Bata

Untuk mengetahui kekuatan bata dapat dilakukan pengetesan secara manual, yaitu dengan cara bata ditumpuk dengan ketinggian sekitar 1 meter kemudian dipijak oleh orang dewasa. Untuk mendapat bata yang jenuh air, sebelum digunakan bata tersebut direndam dalam air.

Syarat batu bata yang baik adalah :

- Kuat
- Mempunyai bentuk yang persegi, lurus dan seragam.
- Warna merah tua.
- Tidak retak dan tidak cacat (tidak sompel).
- Dimasak pada suhu yang tepat.
- Tahan bila direndam.

#### 3.4.7. Air

Ciri-ciri air yang baik adalah :

- Air yang digunakan memenuhi persyaratan air minum.
- Tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau.
- Tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan mutu beton (zat kimia, zat organic, minyak, dan garam).

#### 3.4.8. Kayu

Kayu yang digunakan sebaiknya yang mempunyai kuat kelas I (seperti Ulin, sawo kecil, dll.) dan Kelas II (seperti meuranti, damar, dll.).

Ciri-ciri Kayu yang baik :

- Kayu harus kering.
- Mempunyai umur yang cukup.
- Tidak boleh terlalu banyak cacat dan retak.
- Mata kayu tidak terlalu besar.

#### 3.4.9. Atap

Bahan yang digunakan sebagai atap adalah seng atau genteng dari material ringan. Seng dipilih karena ringan sehingga tidak memberikan beban yang besar kepada struktur bangunan

Ciri-ciri Seng yang baik :

- Mempunyai ketebalan yang cukup (minimum 3 mm)
- Tidak berkarat dan tidak bocor
- Lekukan seng sesuai dengan desain.

Jika genteng sebagai pilihan maka sebaiknya dipilih genteng yang dapat dipaku dengan reng.

### 3.5. Konstruksi

#### 3.5.1. Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari struktur yang paling bawah dan berfungsi untuk menyalurkan beban ke tanah.

- Pondasi harus diletakan pada tanah yang keras.
- Kedalaman minimum untuk pembuatan pondasi adalah 60 cm.
- Pekerjaan pasangan batu kali ini menggunakan adukan campuran 1 semen : 4 pasir.
- Pasangan batu kali untuk pondasi dikerjakan setelah lapisan urug dan *aanstamping* selesai dilakukan.
- Pondasi juga harus mempunyai hubungan kuat dengan sloof, hal ini dapat dilakukan dengan pembuatan angker antara sloof dan pondasi dengan jarak 0,5 meter.

#### 3.5.2. Beton

- Beton yang digunakan untuk beton bertulang dapat menggunakan perbandingan 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.
- Air yang digunakan adalah  $\frac{1}{2}$  dari volume semen (fas 0,5). Perbandingan ini merupakan perbandingan volume. Sebagai penakar dapat menggunakan peralatan yang tidak sukar dicari seperti ember ataupun timba.
- Mutu yang diharapkan dapat tercapai dengan perbandingan di atas adalah sekitar  $150 \text{ kg/cm}^2$ .
- Pengecoran beton dianjurkan dilakukan secara berkesinambungan (tidak berhenti di setengah balok atau di setengah kolom).
- Pengadukan beton sedapat mungkin menggunakan alat pencampur beton (beton molen).
- Apabila pencampuran beton dilakukan secara manual yang pengadukan betonnya menggunakan tenaga manusia, dianjurkan untuk menggunakan bak dari bahan metal atau bahan lain yang kedap air.

#### 3.5.3. Cetakan beton/bekesting.

Hal-hal yang harus diperhatikan di dalam menggunakan bekesting. Diantaranya adalah :

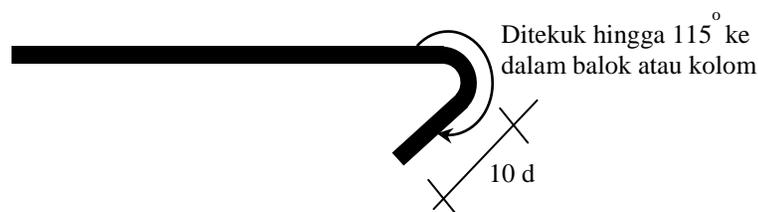
- Pemasangan bekesting harus kokoh dan kuat sehingga tahan terhadap getaran yang ditimbulkan pada saat pengecoran.
- Setiap selesai pemasangan, harus diteliti ulang baik kekuatan maupun bentuknya.
- Cetakan beton dibuat dari bahan yang baik sehingga mudah pada saat dilepaskan tanpa mengakibatkan kerusakan pada beton.
- Bekisting baru boleh dibuka setelah 28 hari. Selama beton belum mengeras harus dilakukan perawatan dengan menyiram beton dengan air.

#### 3.5.4. Beton bertulang

- Beton bertulang merupakan bagian yang terpenting dalam membuat rumah menjadi tahan gempa. Pengerjaan dan kualitas dari beton bertulang harus sangat diperhatikan. Penggunaan alat bantu seperti molen dan vibrator sangat disarankan.
- Untuk membuat struktur beton bertulang (balok, sloof, ring balk) menjadi satu kesatuan sistem pengakeran dan penerusan tulangan harus dilakukan dengan baik.
- Tulangan yang digunakan untuk beton bertulang mempunyai diameter (D) minimum 10 mm dengan jarak sengkang 150 mm baik pada bagian dekat pertemuan maupun di bagian tengah.
- Pada sambungan antara balok dan kolom tulangan harus masuk minimal 40D. Sebagai contoh jika digunakan tulangan dengan diameter 10 mm maka panjang tulangan yang masuk minimal  $40 \times 10 = 400$  mm.
- Adapun ukuran beton bertulang yang digunakan adalah : sloof 15 x 20 cm, kolom utama 16 x 16 cm, ring balk 15 x 18 cm, dan balok kuda2 15 x 18 cm.

#### 3.5.5. Begel atau sengkang

- Begel berfungsi untuk memastikan tulangan dalam senantiasa dalam keadaan lurus (tidak melengkung) pada saat terjadi gempa. Juga untuk menjaga beton tidak menggelembung (pecah) akibat gaya desak yang terjadi.
- Diameter minimal yang digunakan untuk begel ini adalah diameter 8 mm. Pembengkokan (kait) begel ini harus mencapai sudut  $135^\circ$  dengan panjang bengkokan tidak kurang dari 10D.
- Letak kait pada tulangan juga harus secara bervariasi, tidak boleh kait terletak pada satu arah atau sisi saja.
- Agar diperoleh efek angkur yang maksimum dari besi tulangan, maka pada setiap ujung tulangan harus ditekuk ke arah dalam balok hingga  $115^\circ$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tekukan besi untuk mendapatkan efek angkur 10 d

#### 3.5.6. Dinding/pasangan batu bata.

- Mortar (spesi) yang digunakan pada ikatan antar bata dan plesteran dapat digunakan perbandingan 1 semen : 4 pasir, pada bagian yang memerlukan kedap air dapat digunakan 1 semen : 2 pasir.

- Untuk menjaga ikatan antara bata dan kolom ataupun balok serta sloof, maka setiap jarak 50 cm dipasang angker dengan panjang sekitar 30 cm menggunakan besi diameter 8 mm (sebagaimana digambarkan pada gambar 12).
- Sebelum dipasang, batu bata harus direndam terlebih dahulu dalam air dengan tujuan agar air spesi tidak diserap oleh bata.
- Setiap pemasangan bata harus terisi padat dengan spesi minimal 1 cm.

#### 3.5.7. Plesteran

- Sebelum di plaster seluruh permukaan dinding, kolom dan balok harus dibasahi dulu dengan air sampai mencapai keadaan jenuh.
- Pembersihan terhadap permukaan juga harus dilakukan sebelum dilakukan plesteran.

#### 3.5.8. Kusen

- Pada kusen harus dipasang angker yang akan ditanamkan kolom.
- Jika bukaan akibat kusen terlalu besar, maka harus digunakan balok latei pada bagian atas kusen, karena kusen tidak sanggup menahan beban yang besar. Dalam desain bangunan ini balok latei disatukan dengan kayu kusen atas.

#### 3.5.9. Kuda-kuda

Kuda-kuda ada dua macam yaitu kuda-kuda kayu dan kuda-kuda bata.

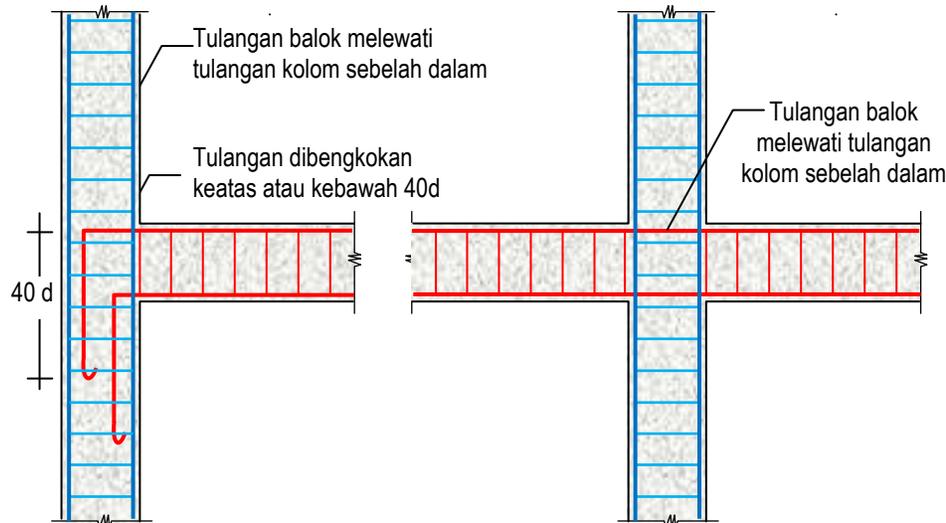
- Untuk membuat dudukan yang kuat, maka kuda-kuda kayu dipasang baut plat besi yang sudah ditanam pada tiang/kolom.
- Sambungan kayu merupakan bagian terlemah dari struktur kuda-kuda sehingga harus dilakukan dengan metode yang benar.
- Untuk menghindari terjadinya pelemahan pada saat guncangan, ikatan angin harus digunakan.
- Kuda-kuda bata akan diperkuat dengan beton bertulang (ring balk). Luas dinding tidak boleh terlalu besar, sehingga penggunaan kolom tambahan sangat disarankan.

## BAB IV TEKNIS PEMASANGAN TULANGAN

Untuk menjamin agar struktur yang dibuat benar-benar aman dan kuat maka setiap elemen struktur harus saling mengikat dan setiap sambungan-sambungan tulangan harus benar-benar diperhatikan. Cara-cara penyambungan tulangan dan elemen struktur diperlihatkan pada gambar-gambar dibawah.

### 4.1. Pertemuan Antara Balok dan Kolom.

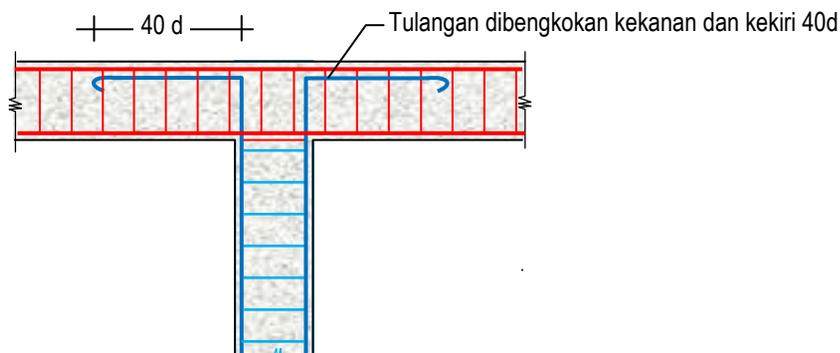
Tulangan pada ujung balok harus dibengkokkan kebagian dalam kolom, dengan panjang bengkokan minimal 40 kali diameter tulangan utama. Secara detail digambarkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Detail Penulangan Hubungan Balok dan Kolom

### 4.2. Pertemuan Antara Kolom dan Ringbalk.

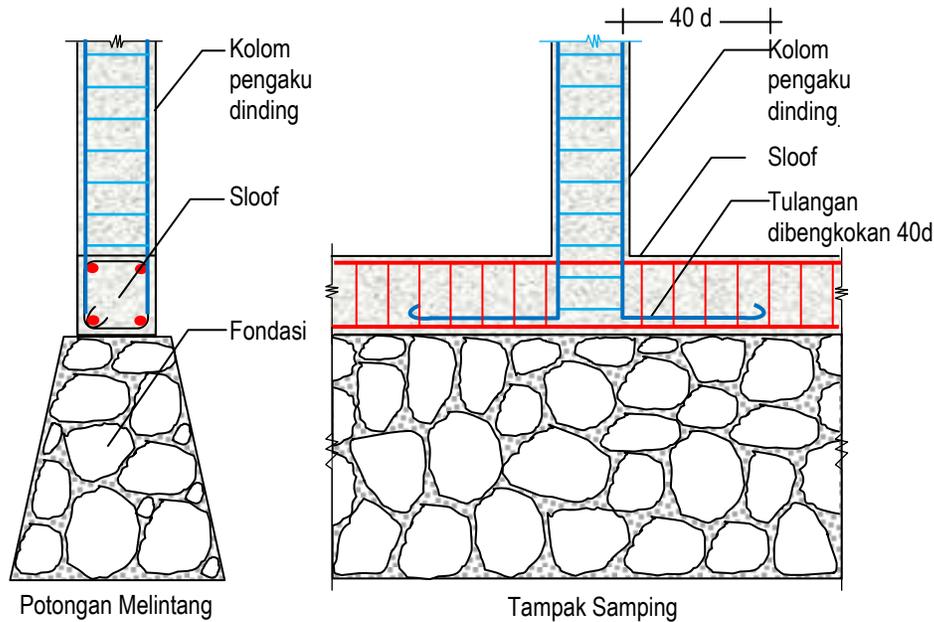
Tulangan pada ujung kolom harus dibengkokkan kebagian dalam ringbalk, dengan panjang bengkokan minimal 40 kali diameter tulangan utama. Secara detail digambarkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Detail Penulangan Hubungan Kolom dan Ringbalk

### 4.3. Pertemuan Antara Kolom dan Sloof.

Tulangan pada ujung kolom harus dibengkokkan kebagian dalam sloof, dengan panjang bengkokan minimal 40 kali diameter tulangan utama. Secara detail digambarkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Detail Penulangan Hubungan Kolom dan Sloof

### 4.4. Pertemuan Antara Plat Lantai dengan Balok.

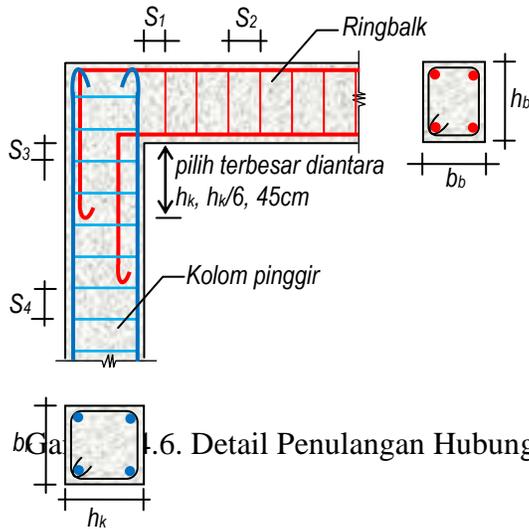
Tulangan atas plat lantai harus dibengkokkan kebagian dalam balok, dengan panjang bengkokan minimal 40 kali diameter tulangan, sedangkan tulangan bawah plat lantai masuk menerus ke dalam balok dan tidak perlu dibengkokkan.

### 4.5. Hubungan Balok Anak dan Balok Induk.

Tulangan atas balok anak menerus melewati balok induk bagian dalam dan ditekuk ke bawah minimal 40 kali diameter tulangnya sebagai panjang penyaluran, sedangkan tulangan bawah balok anak menerus ke dalam balok induk dan ditekuk ke atas hingga 30 kali diameter tulangnya.

### 4.6. Hubungan Ringbalk Atas dengan Kolom Pinggir.

Tulangan atas dan bawah ringbalk menerus melewati kolom bagian dalam dan ditekuk ke bawah hingga 40 kali diameter tulangnya. Secara detail digambarkan pada gambar 4.6.



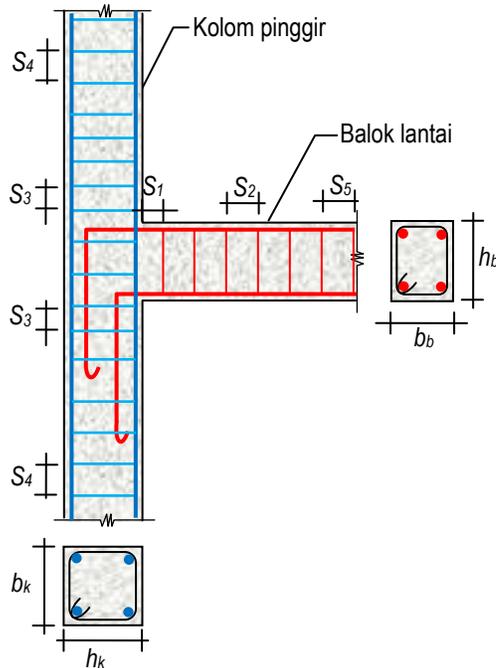
Keterangan :

- $S_1$  = Jarak begel dari tepi kolom diambil maksimum 7,5 cm
- $S_2$  = Jarak begel ringbalk sesuai hasil perencanaan
- $S_3$  = Jarak begel dari tepi bawah ringbalk diambil maksimum 10 cm
- $S_4$  = Jarak begel kolom sesuai hasil perencanaan
- $h_k$  = Tinggi penampang kolom
- $b_k$  = Lebar penampang kolom
- $h_b$  = Tinggi penampang balok
- $b_b$  = Lebar penampang balok

Gambar 4.6. Detail Penulangan Hubungan Ringbalk Ujung Atas dengan Kolom Pinggir

#### 4.7. Hubungan Balok Lantai dengan Kolom Pinggir.

Tulangan atas dan bawah balok diteruskan ke dalam kolom dan ditekuk ke bawah minimal 40 kali diameter tulangan balok. Secara detail digambarkan pada gambar 4.7.



Keterangan :

- $S_1$  = Jarak begel dari tepi kolom diambil maksimum 7,5 cm
- $S_2$  = Jarak begel balok pada daerah tumpuan sesuai hasil perencanaan
- $S_3$  = Jarak begel kolom pada ujung kolom sesuai hasil perencanaan
- $S_4$  = Jarak begel kolom sesuai hasil perencanaan
- $S_5$  = Jarak begel balok sesuai hasil perencanaan
- $h_k$  = Tinggi penampang kolom
- $b_k$  = Lebar penampang kolom
- $h_b$  = Tinggi penampang balok
- $b_b$  = Lebar penampang balok

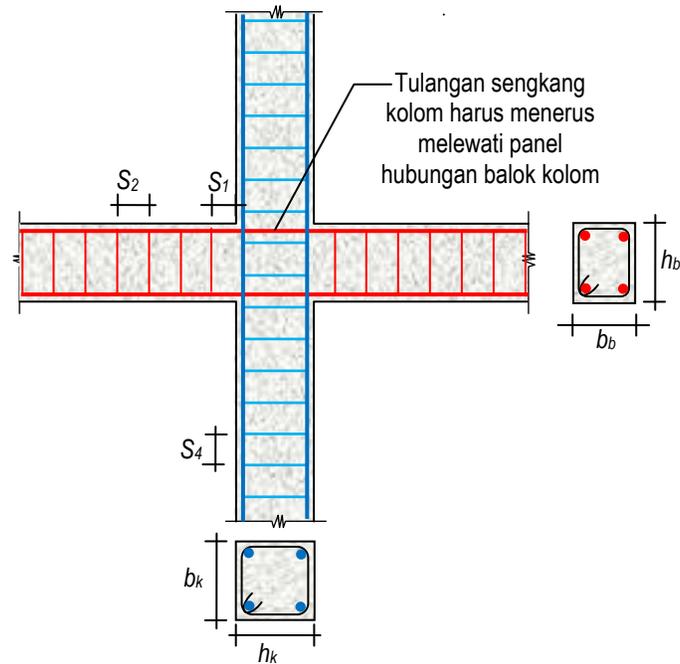
Gambar 4.7. Detail Penulangan Hubungan Balok Lantai dengan Kolom Pinggir.

#### 4.8. Hubungan Balok Lantai dengan Kolom Tengah.

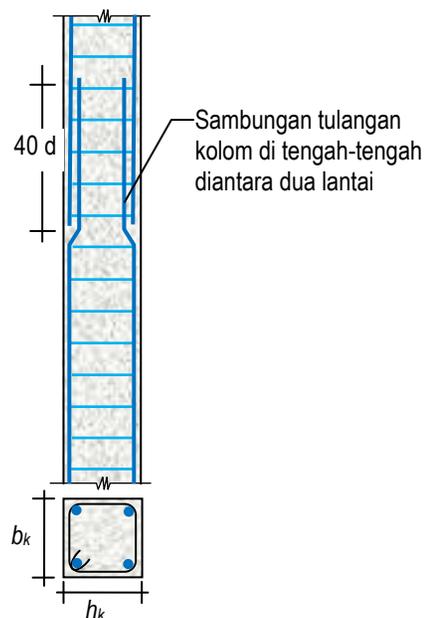
Tulangan atas dan bawah balok diteruskan melewati tengah kolom dan pada bagian pertemuan balok dan kolom, tulangan sengkang kolom harus tetap dipasang menerus ke kolom di atas atau di bawahnya. Secara detail digambarkan pada gambar 4.8.

#### 4.9. Sambungan Tulangan Kolom di Tengah Bentang.

Untuk menyambung tulangan kolom di tengah bentang (di antara dua lantai) maka tulangan yang menerus dari lantai bawah ditekuk ke dalam dan diluruskan kembali ke atas sepanjang 40 kali diameter tulangan kolom, lalu tulangan yang menyambung diletakkan di atas tekukan tulangan kolom dari lantai bawah. Secara detail digambarkan pada gambar 4.9.



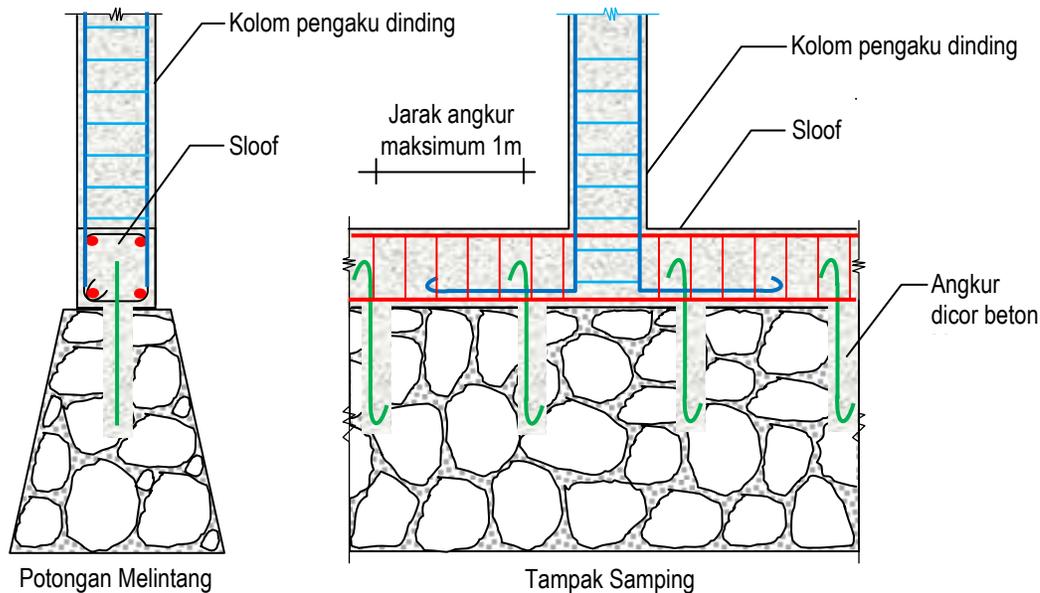
Gambar 4.8. Detail Penulangan Hubungan Balok Lantai dengan Kolom Tengah.



Gambar 4.9. Detail Sambungan Tulangan Kolom di Tengah Bentang Diantara Dua Lantai.

#### 4.10. Pengangkuran Sloof ke Fondasi Menerus.

Untuk rumah yang menggunakan fondasi menerus batu kali, sloof yang diletakan di atas fondasi harus diangkur ke fondasi dengan jarak ankur 1 meter dan lubang tempat ankur pada fondasi diisi dengan beton. Secara detail digambarkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Detail Pengangkuran Sloof ke Fondasi Menerus.

#### 4.11. Keberadaan dan Dimensi Struktur Utama.

Keberadaan dan dimensi struktur utama juga menjadi syarat agar diperoleh suatu bangunan struktur yang kuat sehingga struktur tersebut benar-benar memberikan kenyamanan kepada penggunanya.

- Tinggi kolom maksimum untuk rumah yang menggunakan dinding sebesar 3 meter. Jika tinggi kolom lebih dari 3 meter maka pada bagian tengah dinding (antara sloof dan ringbalk) diberi balok latei.
- Jarak maksimum antar kolom untuk rumah yang menggunakan dinding adalah 3 meter. Jika jarak antar kolom lebih besar dari 3 meter maka di tengah bentang harus menggunakan kolom praktis.
- Seluruh bagian atas dinding dikakukan dengan ringbalk (balok ring) dan saling bertemu.
- Fondasi pasangan batu kali menggunakan batu kali yang kuat, dengan minimal ukuran lebar dasar, lebar atas dan kedalaman minimal sesuai dengan manual perencanaan.
- Dimensi dan tulangan rangka atau pengaku beton bertulang baik tulangan utama maupun tulangan begel minimal harus sesuai dengan dimensi dan ukuran tulangan utama dan begel pada manual perencanaan.
- Gunung-gunung harus diberi kolom dan balok miring (penutup pasangan bata) beton bertulang dengan ukuran dan tulangan sama dengan ringbalk.
- Perencanaan atap hanya untuk kasus bahwa semua kolom diteruskan sampai keatas, apabila kolom yang diteruskan hanya bagian tepi, maka rangka atap harus diperhitungkan sendiri.

## **BAB V**

### **ANALISIS BEBAN GEMPA DAN RESPON SPEKTRUM GEMPA RENCANA**

#### **4.1. Metode Analisis**

Analisis beban gempa dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut :

1. Analisis beban statik ekuivalen (*static equivalent analysis*) yang hanya dapat digunakan pada struktur elastis saja.
2. Analisis dinamis (*dynamic analysis*) yang dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum (*respon spectrum analysis*) yang hanya dapat digunakan pada struktur elastik dan analisis respon riwayat waktu (*time history analysis*) untuk struktur elastis maupun maupun inelastik.
3. Analisis beban statik dorong (*pushover analysis*) yang dapat digunakan baik untuk struktur elastis maupun maupun inelastik.

Syarat-syarat serta cara-cara pemakaian metode-metode analisis gaya gempa tersebut diatas umumnya telah ditentukan dalam SNI-03-1726-2003. Namun mengingat batasan bangunan yang didesain terbatas pada bangunan hanya sampai pada 3 lantai, maka hanya analisis dengan metode beban statik ekuivalen yang didiskusikan sebagaimana dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### **4.2. Analisis Beban Statik Ekuivalen**

Analisis beban statik ekuivalen dapat dengan dua cara yang tergantung dari kategori gedung yang ditinjau :

1. Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung beraturan.
2. Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung tak beraturan.

Menurut SNI-03-1726-2003, suatu struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
2. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
3. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
4. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
5. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
6. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, di mana kekakuan lateralnya

adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat.

7. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
8. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
9. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh Gempa Rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen, sehingga menurut Standar ini analisisnya dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen. Pengaruh Gempa Rencana ditinjau dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen, yang ditetapkan lebih lanjut dalam pasal-pasal berikut.

### 4.3. Gaya Geser Dasar

Gaya Geser Dasar,  $V$  yaitu gaya geser yang bekerja pada dasar bangunan akibat adanya gempa bumi, dapat ditung dengan persamaan :

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t$$

dengan  $C_1$  adalah nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental  $T_1$ ,  $R$  adalah faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan, dan  $W_t$  adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai, sedangkan  $I$  adalah nilai Faktor Keutamaan, untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan. Pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan  $I$  menurut persamaan :

$$I = I_1 I_2$$

di mana  $I_1$  adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung, sedangkan  $I_2$  adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor-faktor Keutamaan  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I$  ditetapkan menurut Tabel 5.1.

Besarnya nilai  $R$  tergantung dari besarnya tingkat daktilitas yang digunakan sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 5.2, namun besarnya tidak lebih besar dari nilai sebagaimana yang dicantumkan pada Tabel 5.3 berdasarkan jenis konstruksinya.

Tabel 5.1. Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung & bangunan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Catatan :

Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya Standar ini maka Faktor Keutamaan, I, dapat dikalikan 80%.

Tabel 5.2. Parameter daktilitas struktur gedung

Taraf kinerja struktur gedung	$\mu$	R
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
Daktail penuh	5,0	8,0
	5,3	8,5

Tabel 5.3. Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung.

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	$\mu_m$	$R_m$	F
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3,6	5,6	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4,1	6,4	2,2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3,6	6,0	2,8
	7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8
	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
a. Baja	2,7	4,5	2,8	
b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8	
4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8	
4. Sistem ganda (Terdiri dari : 1. rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2. pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25%	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE baja			

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	$\mu_m$	$R_m$	F
dari seluruh beban lateral; 3. kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi /sistem ganda)	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever : (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	1,4	2,2	2
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan)	1. Rangka terbuka baja	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3,3	5,5	2,8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh.	4,0	6,5	2,8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

Beban geser dasar nominal  $V$  harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$  menurut persamaan :

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V$$

di mana  $W_i$  adalah berat lantai tingkat ke- $i$ , termasuk beban hidup yang sesuai,  $z_i$  adalah ketinggian lantai tingkat ke- $i$  diukur dari taraf penjepitan lateral, sedangkan  $n$  adalah nomor lantai tingkat paling atas.

Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka 0,1 V harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan 0,9 V sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen.

Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut :

$$T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}}$$

di mana  $W_i$  dan  $F_i$  mempunyai arti yang sama seperti yang disebut di atas,  $d_i$  adalah simpangan horisontal lantai tingkat ke- $i$  dinyatakan dalam mm dan 'g' adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 9810 mm/det<sup>2</sup>. Apabila waktu getar alami fundamental  $T_1$  struktur gedung untuk penentuan Faktor Respons Gempa  $C_1$  ditentukan dengan rumus-rumus empirik atau didapat dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai yang dihitung awal.

Mengingat pada struktur gedung beraturan pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dapat ditampilkan sebagai beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menangkap pada pusat massa lantai-lantai tingkat, maka pengaruh beban-beban gempa nominal statik ekuivalen tersebut dapat dianalisis dengan metoda analisis statik 3 dimensi biasa yang dalam hal ini disebut analisis statik ekuivalen 3 dimensi.

#### 4.4. Faktor Respon Gempa $C_1$

Faktor respon gempa  $C_1$  umumnya ditentukan dari suatu spektrum respon yang secara teoritis seharusnya dihitung berdasarkan rekaman percepatan permukaan tanah akibat gempa pada suatu lokasi. Namun hal ini biasanya tidak mudah dilakukan karena tidak semua tempat mempunyai catatan gempa yang sesuai dengan gempa yang ditetapkan. Pada SNI-03-1726-2003, spektrum respon ditentukan berdasarkan percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap Wilayah Gempa ditetapkan dalam Gambar 1. Percepatan puncak muka tanah  $A_0$  untuk masing-masing jenis tanah ditetapkan dalam Tabel 5.4.

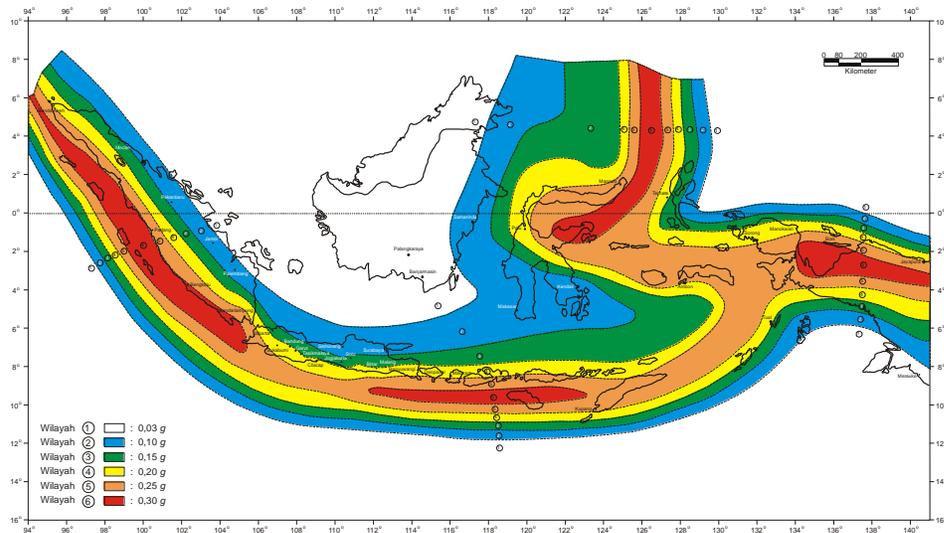
Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah  $A_0$  untuk Wilayah Gempa 1 yang ditetapkan dalam Gambar 5.1 dan Tabel 5.4 ditetapkan juga sebagai percepatan minimum yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur gedung untuk menjamin kekekaran (robustness) minimum dari struktur gedung tersebut.

Percepatan puncak untuk masing-masing Wilayah Gempa ditetapkan Spektrum Respons Gempa Rencana C-T seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.1. Dalam gambar tersebut C adalah Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan T adalah waktu getar

alami struktur gedung dinyatakan dalam detik. Untuk  $T = 0$  nilai  $C$  tersebut menjadi sama dengan  $A_0$ , di mana  $A_0$  merupakan percepatan puncak muka tanah menurut Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah $A_0$ ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

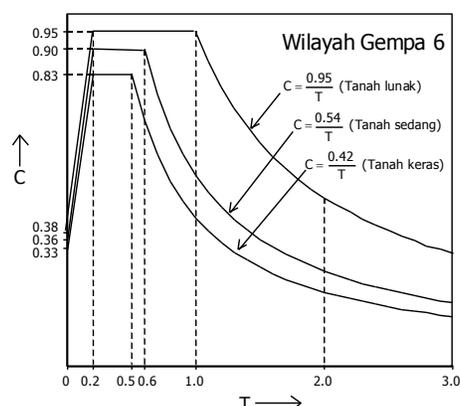
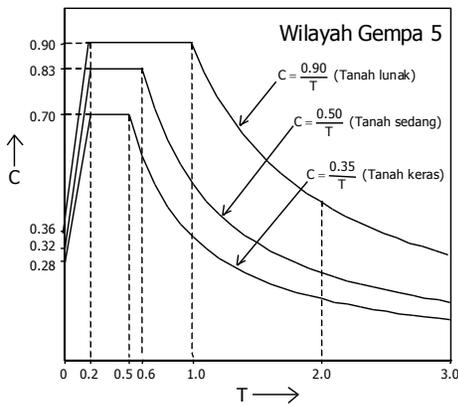
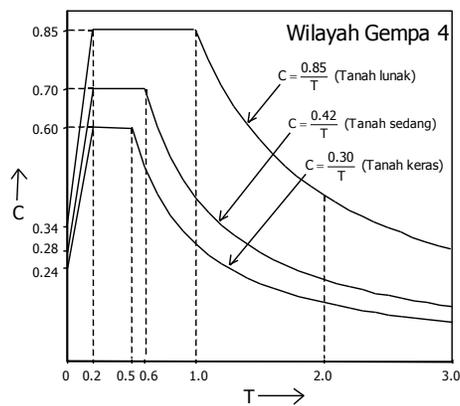
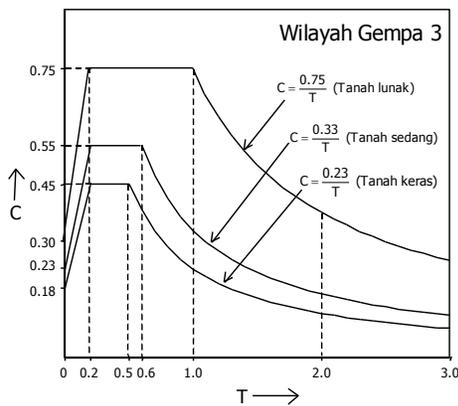
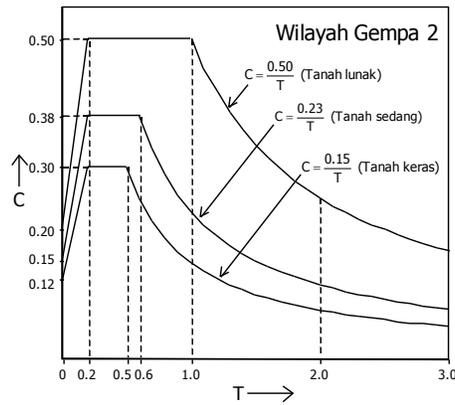
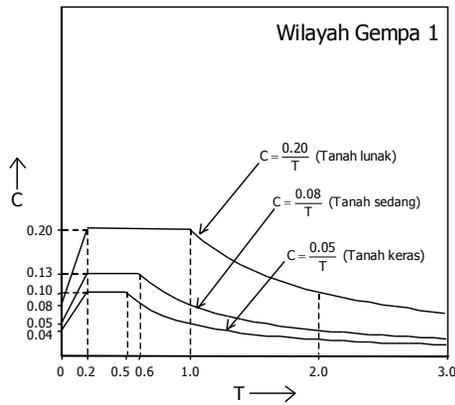


Gambar 5.1. Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun.

Mengingat pada kisaran waktu getar alami pendek  $0 \leq T \leq 0,2$  detik terdapat ketidakpastian, baik dalam karakteristik gerakan tanah maupun dalam tingkat daktilitas strukturnya, Faktor Respons Gempa  $C$  menurut Spektrum Respons Gempa Rencana yang ditetapkan, dalam kisaran waktu getar alami pendek tersebut, nilainya tidak diambil kurang dari nilai maksimumnya untuk jenis tanah yang bersangkutan. Dalam hal ini besarnya percepatan respons maksimum  $A_m$  dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$A_m = 2,5 A_0$$

dan waktu getar alami sudut  $T_c$  sebesar 0,5 detik, 0,6 detik dan 1,0 detik untuk jenis tanah berturut-turut Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak, maka dengan demikian Faktor Respons Gempa  $C$  ditentukan oleh persamaan-persamaan sebagai berikut :



1. untuk  $T \leq T_c$  :  $C = A_m$
2. untuk  $T > T_c$  :  $C = \frac{A_r}{T}$ , dengan  $A_r = A_m T_c$

Nilai-nilai  $A_m$  dan  $A_r$  untuk masing-masing Wilayah Gempa dan masing-masing jenis tanah, disajikan pada Tabel 5.5. Hubungan antara  $C$  dan  $T$  untuk masing-masing wilayah dapat digambarkan sebagaimana gambar 5.2.

Tabel 5.5 Spektrum respons gempa rencana

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5$ det.		Tanah Sedang $T_c = 0,6$ det.		Tanah Lunak $T_c = 1,0$ det.	
	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95

## BAB VI ANALISIS PEMBEBAN DAN MODEL BANGUNAN

### 4.1. Tinjauan Umum.

Ada beberapa langkah didalam perencanaan bangunan gedung. Adapun langkah-langkah yang ditempuh setelah kita menentukan model bangunan adalah :

1. Prakiraan ukuran dimensi elemen struktur.
2. Analisis pembebanan, yang berupa beban mati, hidup, gempa, angin dan khusus.
3. Analisis Struktur.
4. Perencanaan tulangan, yang berupa jumlah dan diameter tulangan.
5. Kontrol kekuatan, yang berupa kapasitas momen, lendutan, dan tegangan. Jika didalam kontrol tidak memenuhi syarat, maka ukuran dimensi diperbesar, namun jika kontrolnya memenuhi syarat tetapi terlalu besar dibandingkan dengan persyaratannya, maka ukuran dimensi diperkecil.

Analisis pembebanan dilaksanakan berdasarkan *SNI 1727-1989F* dan untuk beban gempa dihitung dengan cara analysis spektrum respon berdasarkan *SNI 03-1726-2003*. Perencanaan tulangan beton dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2002*.

### 4.2. Model Bangunan

Model bangunan ini ditentukan berdasarkan kebiasaan masyarakat didalam membangun bangunan rumah tinggal. Ada beberapa model bangunan yang biasanya dibangun masyarakat diantaranya adalah :

1. Bangunan satu lantai satu bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.1.
2. Bangunan satu lantai dua bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.2.
3. Bangunan satu lantai tiga bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.3.
4. Bangunan dua lantai satu bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.4.
5. Bangunan dua lantai dua bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.5.
6. Bangunan dua lantai tiga bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.6.
7. Bangunan tiga lantai satu bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.7.
8. Bangunan tiga lantai dua bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.8.
9. Bangunan tiga lantai tiga bentang, dengan lebar bentang adalah 3m, 4m dan 5m. Model bangunan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.9.

### 4.3. Bahan Struktur

Bahan yang digunakan didalam analisis struktur meliputi beton bertulang untuk elemen kolom, sloof, balok, balok miring, ring balk, balok anak, dan material baja untuk tulangan.

#### 1. Beton

- Kuat tekan beton yang disyaratkan,  $f_c' = 15$  MPa.
- Modulusu elastis beton,  $E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 18203,02$  MPa.
- Angka *Poison*,  $\nu = 0,2$ .
- Berat bahan,  $\gamma = 2400$  kg/cm<sup>3</sup>.

#### 2. Baja

- Tegangan leleh,  $f_y = 240$  MPa.
- Modulusu elastis baja,  $E_s = 2.10^5$  MPa.
- Angka *Poison*,  $\nu = 0,3$ .
- Berat bahan,  $\gamma = 7850$  kg/cm<sup>3</sup>.

#### 3. Pasangan dinding (*masonry*)

- Modulusu elastisitas,  $E_m = 1,54.10^4$  MPa.
- Angka *Poison*,  $\nu = 0,15$
- Berat bahan,  $\gamma = 1700$  kg/cm<sup>3</sup>.

#### 4. Kayu

- Modulusu elastisitas,  $E_w = 2.10^4$  MPa.
- Angka *Poison*,  $\nu = 0,2$
- Berat bahan,  $\gamma = 1000$  kg/cm<sup>2</sup>.

### 4.4. Faktor Reduksi

Angka faktor reduksi yang digunakan adalah nilai faktor reduksi untuk keperluan perancangan/desain struktur sesuai *SNI 03-2847-2002*.

1. Lentur, tanpa beban aksial : 0,80
2. Tarik aksial, dan tarik aksial dengan lentur : 0,80
3. Tekan aksial dan tekan aksial dengan lentur :
  - Komponen dengan tulangan spiral : 0,70
  - Komponen lain : 0,65
4. Geser dan/atau puntir : 0,75
5. Tumpuan pada beton : 0,65

### 4.5. Pembebanan Struktur

#### 4.5.1. Beban Gempa

Pada perencanaan ini digunakan 3 kondisi tanah, yakni tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Besarnya nilai koefisien dasar gempa untuk daerah wilayah 4 dengan kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 6.1. Berdasarkan tabel tersebut hubungan antara periode (T) dan koefisien dasar gempa (C<sub>1</sub>) dapat digambarkan sebagaimana gambar 5.2.

Faktor Gempa (E)

- Faktor keutamaan (I), gedung penting = 1,0

- Faktor reduksi gempa (R), daktail parsial = 4,8
- Faktor pengali = 2,04375
- Sudut arah datang = 0°, 45°, 90°

Tabel 6.1. Nilai  $C_1$  untuk kondisi tanah keras, sedang dan lunak.

Tanah Keras Tc = 0,5		Tanah Sedang Tc = 0,6		Tanah Lunak Tc = 1	
Am	Ar	Am	Ar	Am	Ar
0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
T	C	T	C	T	C
0,0	0,240	0,0	0,280	0,0	0,340
0,2	0,600	0,2	0,700	0,2	0,850
0,5	0,600	0,6	0,700	1,0	0,850
0,6	0,500	0,7	0,600	1,1	0,773
0,7	0,429	0,8	0,525	1,2	0,708
0,8	0,375	0,9	0,467	1,3	0,654
0,9	0,333	1,0	0,420	1,4	0,607
1,0	0,300	1,1	0,382	1,5	0,567
1,1	0,273	1,2	0,350	1,6	0,531
1,2	0,250	1,3	0,323	1,7	0,500
1,3	0,231	1,4	0,300	1,8	0,472
1,4	0,214	1,5	0,280	1,9	0,447
1,5	0,200	1,6	0,263	2,0	0,425
1,6	0,188	1,7	0,247	2,1	0,405
1,7	0,176	1,8	0,233	2,2	0,386
1,8	0,167	1,9	0,221	2,3	0,370
1,9	0,158	2,0	0,210	2,4	0,354
2,0	0,150	2,1	0,200	2,5	0,340
2,1	0,143	2,2	0,191	2,6	0,327
2,2	0,136	2,3	0,183	2,7	0,315
2,3	0,130	2,4	0,175	2,8	0,304
2,4	0,125	2,5	0,168	2,9	0,293
2,5	0,120	2,6	0,162	3,0	0,283
2,6	0,115	2,7	0,156	3,1	0,274
2,7	0,111	2,8	0,150	3,2	0,266
2,8	0,107	2,9	0,145	3,3	0,258
2,9	0,103	3,0	0,140	3,4	0,250
3,0	0,100	3,1	0,135	3,5	0,243
3,1	0,097	3,2	0,131	3,6	0,236
3,2	0,094	3,3	0,127	3,7	0,230
3,3	0,091	3,4	0,124	3,8	0,224
3,4	0,088	3,5	0,120	3,9	0,218
3,5	0,086	3,6	0,117	4,0	0,213

#### 4.5.2. Beban Mati, Hidup dan Angin.

Beban mati, hidup dan angin mengikuti masing-masing jenis struktur/model bangunan. Besarnya beban yang digunakan pada perencanaan berdasarkan PMI 1983 adalah :

- Beban hidup terpusat untuk atap = 1 kN
- Berat genteng (termasuk usuk dan reng) = 0,5 kN/m<sup>2</sup>

##### 4.5.2.1. Portal Satu Lantai Satu Bentang dengan lebar 3 m.

###### 1. Beban Mati

Jarak gording = 1,5 m

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,94 \times 0,5$  = 0,45 kN/m
- Gording tepi bawah =  $1,50 \times 0,5$  = 0,75 kN/m

###### 2. Beban Hidup

Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.

Beban di tengah gording = 1 kN

###### 3. Beban Angin

- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) = 40 kg/m<sup>2</sup>
- Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) = 30°
- Beban angin tekan  $q_{w_{tekan}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P$  = 0,08 kN/m<sup>2</sup>  
Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :
  - Gording tepi atas =  $0,9 \times 0,08$  = 0,072 kN/m
  - Gording tepi bawah =  $1,5 \times 0,08$  = 0,120 kN/m
- Beban angin isap  $q_{w_{isap}} = -0,4 \times P$  = -0,160 kN/m<sup>2</sup>  
Beban angin isap yang dipikul setiap gording :
  - Gording tepi atas =  $0,9 \times -0,16$  = -0,144 kN/m
  - Gording tepi bawah =  $1,5 \times -0,16$  = -0,240 kN/m

###### 4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,9 \times 2,5 \times 0,5$  = 1,125 kN
    - Join tepi bawah =  $1,5 \times 2,5 \times 0,5$  = 1,875 kN
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas = 0,115 kN
    - Join tepi bawah = 0,191 kN

##### 4.5.2.2. Portal Satu Lantai Satu Bentang dengan lebar 4 m.

###### 1. Beban Mati

Jarak gording = 1,0387 m

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,669 \times 0,5$  = 0,453 kN/m
- Gording tengah =  $1,039 \times 0,5$  = 0,720 kN/m

- Gording tepi bawah =  $1,269 \times 0,5 = 0,735$  kN/m
2. Beban Hidup  
Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.  
Beban di tengah gording = 1 kN
3. Beban Angin
- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) = 40 kg/m<sup>2</sup>
  - Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) = 30°
  - Beban angin tekan  $q_{w_{tekan}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08$  kN/m<sup>2</sup>  
Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :
    - Gording tepi atas =  $0,669 \times 0,08 = 0,054$  kN/m
    - Gording tengah =  $1,039 \times 0,08 = 0,083$  kN/m
    - Gording tepi bawah =  $1,269 \times 0,08 = 0,102$  kN/m
  - Beban angin isap  $q_{w_{isap}} = -0,4 \times P = -0,160$  kN/m<sup>2</sup>  
Beban angin isap yang dipikul setiap gording :
    - Gording tepi atas =  $0,669 \times -0,16 = -0,107$  kN/m
    - Gording tengah =  $1,039 \times -0,16 = -0,166$  kN/m
    - Gording tepi bawah =  $1,269 \times -0,16 = -0,203$  kN/m
4. Massa
- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
  - Berat yang dipikul masing-masing join :
    - Untuk kuda-kuda tepi
      - Join tepi atas =  $0,669 \times 3 \times 0,5 = 1,004$  kN
      - Join tengah =  $1,039 \times 3 \times 0,5 = 1,558$  kN
      - Join tepi bawah =  $1,269 \times 3 \times 0,5 = 1,904$  kN
    - Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
      - Untuk kuda-kuda tepi
        - Join tepi atas = 0,102 kN
        - Join tengah = 0,159 kN
        - Join tepi bawah = 0,194 kN

#### 4.5.2.3. Portal Satu Lantai Satu Bentang dengan lebar 5 m.

1. Beban Mati  
Jarak gording = 0,8849 m  
Beban mati yang dipikul setiap gording :
  - Gording tepi atas =  $0,592 \times 0,5 = 0,296$  kN/m
  - Gording tengah =  $0,885 \times 0,5 = 0,442$  kN/m
  - Gording tepi bawah =  $1,192 \times 0,5 = 0,592$  kN/m
2. Beban Hidup  
Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.  
Beban di tengah gording = 1 kN
3. Beban Angin
- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) = 40 kg/m<sup>2</sup>
  - Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) = 30°
  - Beban angin tekan  $q_{w_{tekan}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08$  kN/m<sup>2</sup>

Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,592 \times 0,08 = 0,047$  kN/m
- Gording tengah =  $0,885 \times 0,08 = 0,071$  kN/m
- Gording tepi bawah =  $1,192 \times 0,08 = 0,095$  kN/m
- Beban angin isap  $q_{w_{isap}} = -0,4 \times P = -0,160$  kN/m<sup>2</sup>

Beban angin isap yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,592 \times -0,16 = -0,095$  kN/m
- Gording tengah =  $0,885 \times -0,16 = -0,142$  kN/m
- Gording tepi bawah =  $1,192 \times -0,16 = -0,191$  kN/m

#### 4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,592 \times 3,5 \times 0,5 = 1,0368$  kN
    - Join tengah =  $0,885 \times 3,5 \times 0,5 = 1,5486$  kN
    - Join tepi bawah =  $1,192 \times 3,5 \times 0,5 = 2,0868$  kN
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,106$  kN
    - Join tengah =  $0,158$  kN
    - Join tepi bawah =  $0,213$  kN

#### 4.5.2.4. Portal Satu Lantai Dua Bentang dengan lebar 3 m.

##### 1. Beban Mati

Jarak gording = 1,582 m

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,94 \times 0,5 = 0,471$  kN/m
- Gording tengah =  $1,58 \times 0,5 = 0,791$  kN/m
- Gording tepi bawah =  $1,54 \times 0,5 = 0,771$  kN/m

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.

Beban di tengah gording = 1 kN

##### 3. Beban Angin

- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) = 40 kg/m<sup>2</sup>
- Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) = 30°
- Beban angin tekan  $q_{w_{tekan}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08$  kN/m<sup>2</sup>

Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,94 \times 0,08 = 0,0760$  kN/m
- Gording tengah =  $1,58 \times 0,08 = 0,1278$  kN/m
- Gording tepi bawah =  $1,54 \times 0,08 = 0,1244$  kN/m
- Beban angin isap  $q_{w_{isap}} = -0,4 \times P = -0,160$  kN/m<sup>2</sup>

Beban angin isap yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,94 \times -0,16 = -0,152$  kN/m
- Gording tengah =  $1,58 \times -0,16 = -0,256$  kN/m

$$\circ \text{ Gording tepi bawah} = 1,54 \times -0,16 = -0,249 \text{ kN/m}$$

#### 4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,94 \times 0,25 \times 0,5 = 1,1763 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,58 \times 0,25 \times 0,5 = 1,9776 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,54 \times 0,25 \times 0,5 = 1,9263 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,94 \times 3 \times 0,5 = 1,4116 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,58 \times 3 \times 0,5 = 2,3732 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,54 \times 3 \times 0,5 = 2,3116 \text{ kN}$
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,1199 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,2016 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,1964 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,1439 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,2419 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,2356 \text{ kN}$

#### 4.5.2.5. Portal Satu Lantai Dua Bentang dengan lebar 4 m.

##### 1. Beban Mati

$$\text{Jarak gording} = 1,44 \text{ m}$$

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,87 \times 0,5 = 0,435 \text{ kN/m}$
- Gording tengah =  $1,44 \times 0,5 = 0,720 \text{ kN/m}$
- Gording tepi bawah =  $1,47 \times 0,5 = 0,735 \text{ kN/m}$

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.

$$\text{Beban di tengah gording} = 1 \text{ kN}$$

##### 3. Beban Angin

- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) =  $40 \text{ kg/m}^2$
  - Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) =  $30^\circ$
  - Beban angin tekan  $q_{w_{\text{tekan}}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,87 \times 0,08 = 0,0702 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,44 \times 0,08 = 0,1162 \text{ kN/m}$
  - Gording tepi bawah =  $1,47 \times 0,08 = 0,1187 \text{ kN/m}$
- Beban angin isap  $q_{w_{\text{isap}}} = -0,4 \times P = -0,160 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin isap yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,87 \times -0,16 = -0,140 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,44 \times -0,16 = -0,232 \text{ kN/m}$

$$\circ \text{ Gording tepi bawah} = 1,47 \times -0,16 = -0,237 \text{ kN/m}$$

#### 4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,87 \times 3 \times 0,5 = 1,3047 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,44 \times 3 \times 0,5 = 2,1594 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,47 \times 3 \times 0,5 = 2,2047 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,87 \times 4 \times 0,5 = 1,7396 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,44 \times 4 \times 0,5 = 2,8792 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,47 \times 4 \times 0,5 = 2,9396 \text{ kN}$
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,1330 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,2201 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,2247 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,1773 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,2935 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,2997 \text{ kN}$

#### 4.5.2.6. Portal Satu Lantai Dua Bentang dengan lebar 5 m.

##### 1. Beban Mati

$$\text{Jarak gording} = 1,368 \text{ m}$$

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,83 \times 0,5 = 0,417 \text{ kN/m}$
- Gording tengah =  $1,37 \times 0,5 = 0,684 \text{ kN/m}$
- Gording tepi bawah =  $1,43 \times 0,5 = 0,717 \text{ kN/m}$

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.

$$\text{Beban di tengah gording} = 1 \text{ kN}$$

##### 3. Beban Angin

- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) =  $40 \text{ kg/m}^2$
  - Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) =  $30^\circ$
  - Beban angin tekan  $q_{w_{tekan}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,83 \times 0,08 = 0,0674 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,37 \times 0,08 = 0,1105 \text{ kN/m}$
  - Gording tepi bawah =  $1,43 \times 0,08 = 0,1158 \text{ kN/m}$
- Beban angin isap  $q_{w_{isap}} = -0,4 \times P = -0,160 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin isap yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,83 \times -0,16 = -0,135 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,37 \times -0,16 = -0,221 \text{ kN/m}$

$$\circ \text{ Gording tepi bawah} = 1,43 \times -0,16 = -0,232 \text{ kN/m}$$

#### 4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,83 \times 3,5 \times 0,5 = 1,4599 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,37 \times 3,5 \times 0,5 = 2,3947 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,43 \times 3,5 \times 0,5 = 2,5099 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,83 \times 5 \times 0,5 = 2,0855 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,37 \times 5 \times 0,5 = 3,4210 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,43 \times 5 \times 0,5 = 3,5855 \text{ kN}$
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,1488 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,2441 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,2558 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,2126 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,3487 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,3655 \text{ kN}$

#### 4.5.2.7. Portal Satu Lantai Tiga Bentang dengan lebar 3 m.

##### 1. Beban Mati

$$\text{Jarak gording} = 0,979 \text{ m}$$

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,640 \times 0,5 = 0,320 \text{ kN/m}$
- Gording tengah =  $0,979 \times 0,5 = 0,490 \text{ kN/m}$
- Gording tepi bawah =  $1,24 \times 0,5 = 0,620 \text{ kN/m}$

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.

$$\text{Beban di tengah gording} = 1 \text{ kN}$$

##### 3. Beban Angin

- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) =  $40 \text{ kg/m}^2$
  - Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) =  $30^\circ$
  - Beban angin tekan  $q_{w_{tekan}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,640 \times 0,08 = 0,051 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $0,979 \times 0,08 = 0,078 \text{ kN/m}$
  - Gording tepi bawah =  $1,240 \times 0,08 = 0,099 \text{ kN/m}$
- Beban angin isap  $q_{w_{isap}} = -0,4 \times P = -0,160 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin isap yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,640 \times -0,16 = -0,102 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $0,979 \times -0,16 = -0,157 \text{ kN/m}$

$$\circ \text{ Gording tepi bawah} = 1,240 \times -0,16 = -0,198 \text{ kN/m}$$

#### 4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,640 \times 2,35 \times 0,5 = 0,751 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,979 \times 2,35 \times 0,5 = 1,150 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,240 \times 2,35 \times 0,5 = 1,456 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,640 \times 3 \times 0,5 = 0,959 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,979 \times 3 \times 0,5 = 1,469 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,240 \times 3 \times 0,5 = 1,859 \text{ kN}$
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,077 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,117 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,148 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,098 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,150 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,190 \text{ kN}$

#### 4.5.2.8. Portal Satu Lantai Tiga Bentang dengan lebar 4 m.

##### 1. Beban Mati

$$\text{Jarak gording} = 1,326 \text{ m}$$

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,813 \times 0,5 = 0,407 \text{ kN/m}$
- Gording tengah =  $1,326 \times 0,5 = 0,663 \text{ kN/m}$
- Gording tepi bawah =  $1,413 \times 0,5 = 0,707 \text{ kN/m}$

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.

$$\text{Beban di tengah gording} = 1 \text{ kN}$$

##### 3. Beban Angin

- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) =  $40 \text{ kg/m}^2$
  - Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) =  $30^\circ$
  - Beban angin tekan  $q_{w_{\text{tekan}}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,813 \times 0,08 = 0,065 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,326 \times 0,08 = 0,106 \text{ kN/m}$
  - Gording tepi bawah =  $1,413 \times 0,08 = 0,113 \text{ kN/m}$
- Beban angin isap  $q_{w_{\text{isap}}} = -0,4 \times P = -0,160 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin isap yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,813 \times -0,16 = -0,130 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,326 \times -0,16 = -0,212 \text{ kN/m}$

$$\circ \text{ Gording tepi bawah} = 1,413 \times -0,16 = -0,226 \text{ kN/m}$$

#### 4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,813 \times 2,85 \times 0,5 = 1,159 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,326 \times 2,85 \times 0,5 = 1,890 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,413 \times 2,85 \times 0,5 = 2,014 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,813 \times 4 \times 0,5 = 1,626 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $1,326 \times 4 \times 0,5 = 2,652 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $1,413 \times 4 \times 0,5 = 2,826 \text{ kN}$
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,118 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,193 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,205 \text{ kN}$
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,166 \text{ kN}$
    - Join tengah =  $0,270 \text{ kN}$
    - Join tepi bawah =  $0,288 \text{ kN}$

#### 4.5.2.9. Portal Satu Lantai Tiga Bentang dengan lebar 5 m.

##### 1. Beban Mati

$$\text{Jarak gording} = 1,393 \text{ m}$$

Beban mati yang dipikul setiap gording :

- Gording tepi atas =  $0,847 \times 0,5 = 0,423 \text{ kN/m}$
- Gording tengah =  $1,393 \times 0,5 = 0,697 \text{ kN/m}$
- Gording tepi bawah =  $1,447 \times 0,5 = 0,723 \text{ kN/m}$

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup yang hanya bekerja pada atap.

$$\text{Beban di tengah gording} = 1 \text{ kN}$$

##### 3. Beban Angin

- Tekanan tiup angin diambil sebesar (P) =  $40 \text{ kg/m}^2$
  - Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) =  $30^\circ$
  - Beban angin tekan  $q_{w_{\text{tekan}}} = (0,02\alpha - 0,4) \times P = 0,08 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin tekan yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,847 \times 0,08 = 0,068 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,393 \times 0,08 = 0,111 \text{ kN/m}$
  - Gording tepi bawah =  $1,447 \times 0,08 = 0,116 \text{ kN/m}$
- Beban angin isap  $q_{w_{\text{isap}}} = -0,4 \times P = -0,160 \text{ kN/m}^2$
- Beban angin isap yang dipikul setiap gording :
- Gording tepi atas =  $0,847 \times -0,16 = -0,135 \text{ kN/m}$
  - Gording tengah =  $1,393 \times -0,16 = -0,223 \text{ kN/m}$

○ Gording tepi bawah =  $1,447 \times -0,16 = -0,231$  kN/m

4. Massa

- Massa diasumsi bekerja pada masing-masing join gording di kuda-kuda.
- Berat yang dipikul masing-masing join :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas =  $0,847 \times 3,35 \times 0,5 = 1,418$  kN
    - Join tengah =  $1,393 \times 3,35 \times 0,5 = 2,333$  kN
    - Join tepi bawah =  $1,447 \times 3,35 \times 0,5 = 2,423$  kN
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas =  $0,847 \times 5 \times 0,5 = 2,116$  kN
    - Join tengah =  $1,393 \times 5 \times 0,5 = 3,483$  kN
    - Join tepi bawah =  $1,447 \times 5 \times 0,5 = 3,616$  kN
- Massa yang dipikul masing-masing join (berat/g) :
  - Untuk kuda-kuda tepi
    - Join tepi atas = 0,145 kN
    - Join tengah = 0,238 kN
    - Join tepi bawah = 0,247 kN
  - Untuk kuda-kuda tengah
    - Join tepi atas = 0,216 kN
    - Join tengah = 0,355 kN
    - Join tepi bawah = 0,369 kN

## BAB VII HASIL PERENCANAAN

Hasil desain rumah tahan gempa ini berupa dimensi elemen (kolom, sloof, balok, ring balk, balok miring, balok anak) dan jumlah tulangan beserta diameternya, untuk bangunan satu lantai, dua lantai dan tiga lantai dengan jumlah bentang satu, dua, dan tiga, untuk wilayah gempa 4 atau lebih kecil pada kondisi tanah keras, sedang dan lunak.

### **7.1. Bangunan Satu Lantai**

Hasil perencanaan untuk bangunan satu lantai yang berupa kolom, sloof, ring balk, dan balok miring disajikan selengkapnya pada :

- Tabel 1 dan Tabel 2 untuk bangunan dengan jumlah bentang satu.
- Tabel 3 dan Tabel 4 untuk bangunan dengan jumlah bentang dua.
- Tabel 5 dan Tabel 6 untuk bangunan dengan jumlah bentang tiga.

### **7.2. Bangunan Dua Lantai**

Hasil perencanaan untuk bangunan dua lantai yang berupa kolom, sloof, balok, ring balk, balok miring, dan balok anak disajikan selengkapnya pada :

- Tabel 7 dan Tabel 8 untuk bangunan dengan jumlah bentang satu.
- Tabel 9 dan Tabel 10 untuk bangunan dengan jumlah bentang dua.
- Tabel 11 dan Tabel 12 untuk bangunan dengan jumlah bentang tiga.

### **7.3. Bangunan Tiga Lantai**

Hasil perencanaan untuk bangunan tiga lantai yang berupa kolom, sloof, balok ring balk, balok miring dan balok anak disajikan selengkapnya pada :

- Tabel 13 dan Tabel 14 untuk bangunan dengan jumlah bentang satu.
- Tabel 15 dan Tabel 16 untuk bangunan dengan jumlah bentang dua.
- Tabel 17 dan Tabel 18 untuk bangunan dengan jumlah bentang tiga.

Tabel 1. Hasil Perencanaan Kolom dan Sloof Bangunan Satu Lantai Satu Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof				
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan		
				Utama		Begel			Utama		Begel
		B	H	Ujung	Tengah		B	H	Atas	Bawah	
Keras	3	160	160	4 $\phi$ 10	4 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	180	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
Sedang	3	160	160	4 $\phi$ 10	4 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	180	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
Lunak	3	160	160	4 $\phi$ 10	4 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	180	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	220	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150

Tabel 2. Hasil Perencanaan Ring Balk dan Balok Miring Bangunan Satu Lantai Satu Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring				
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan		
				Utama		Begel			Utama		Begel
		B	H	Atas	Bawah		B	H	Atas	Bawah	
Keras	3	160	190	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	170	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	180	210	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	210	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	200	210	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
Sedang	3	160	210	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	170	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	220	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	180	210	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	220	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	200	220	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
Lunak	3	160	220	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	180	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	230	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	180	210	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	250	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	200	240	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150

Tabel 3. Hasil Perencanaan Kolom dan Sloof Bangunan Satu Lantai Dua Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof				
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan		
				Utama		Begel			Utama		Begel
		B	H	Ujung	Tengah		B	H	Atas	Bawah	
Keras	3	150	150	4 $\phi$ 10	4 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	250	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
Sedang	3	180	180	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	220	220	8 $\phi$ 12	8 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
Lunak	3	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	220	220	8 $\phi$ 12	8 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	200	3 $\phi$ 10	3 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	250	250	8 $\phi$ 12	8 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	300	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150

Tabel 4. Hasil Perencanaan Ring Balk dan Balok Miring Bangunan Satu Lantai Dua Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring				
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan		
				Utama		Begel			Utama		Begel
		B	H	Atas	Bawah		B	H	Atas	Bawah	
Keras	3	150	180	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	150	180	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	200	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	220	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	220	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
Sedang	3	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	200	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	200	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	230	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	230	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
Lunak	3	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	180	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	200	220	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	220	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	200	240	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	240	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150

Tabel 5. Hasil Perencanaan Kolom dan Sloof Bangunan Satu Lantai Tiga Bentang atau Lebih

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof				
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan		
				Utama		Begel			Utama		Begel
		B	H	Ujung	Tengah		B	H	Atas	Bawah	
Keras	3	160	160	4 $\phi$ 10	4 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	180	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
	5	220	220	6 $\phi$ 12	6 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
Sedang	3	180	180	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	220	220	6 $\phi$ 12	6 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	3 $\phi$ 10	3 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	5	250	250	6 $\phi$ 12	6 $\phi$ 12	$\phi$ 8-100	150	200	2 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-125
Lunak	3	200	200	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	150	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
	4	250	250	6 $\phi$ 12	6 $\phi$ 12	$\phi$ 8-100	150	200	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
	5	270	270	8 $\phi$ 12	8 $\phi$ 12	$\phi$ 8-100	150	200	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-100

Tabel 6. Hasil Perencanaan Ring Balk dan Balok Miring Bangunan Satu Lantai Tiga Bentang atau Lebih

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring				
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan		
				Utama		Begel			Utama		Begel
		B	H	Atas	Bawah		B	H	Atas	Bawah	
Keras	3	160	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	180	220	3 $\phi$ 10	3 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	180	220	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
	5	200	230	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	230	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
Sedang	3	160	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150	160	200	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
	4	180	250	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	180	220	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
	5	200	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
Lunak	3	160	220	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	160	200	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	$\phi$ 8-150
	4	200	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	180	220	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150
	5	220	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150

Tabel 7. Hasil Perencanaan Kolom, Sloof dan Balok Bangunan Dua Lantai Satu Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof									Balok								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan						Dimensi (mm)		Tulangan							
		B	H	Ujung	Tengah	Begel	B	H	Tumpuan			Lapangan			B	H	Tumpuan			Lapangan				
									Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel			Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	230	230	4φ 16	4φ 16	φ 8-150	200	280	4φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	250	300	3φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150		
	4	300	300	4φ 16	4φ 16	φ 8-150	250	300	5φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	270	350	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	3φ 16	3φ 16	φ 8-150		
	5	350	350	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	270	350	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	400	5φ 19	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150		
Sedang	3	250	250	4φ 16	4φ 16	φ 8-150	220	300	4φ 12	3φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150	270	330	4φ 12	3φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150		
	4	330	330	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	270	320	5φ 12	4φ 12	φ 8-150	2φ 12	4φ 12	φ 8-150	280	360	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150		
	5	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	280	400	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150	320	400	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150		
Lunak	3	270	270	4φ 16	4φ 16	φ 8-150	250	300	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	280	350	5φ 12	3φ 12	φ 8-150	2φ 16	3φ 12	φ 8-150		
	4	350	350	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	300	370	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	370	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150		
	5	420	420	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	300	450	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150	350	450	4φ 19	3φ 19	φ 8-150	2φ 16	3φ 19	φ 8-150		

Tabel 8. Hasil Perencanaan Ring Balk, Balok Miring dan Balok Anak Bangunan Dua Lantai Satu Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring									Balok Anak								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan						Dimensi (mm)		Tulangan							
		B	H	Utama		Begel	B	H	Tumpuan			Lapangan			B	H	Tumpuan			Lapangan				
				Atas	Bawah				Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel			Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	170	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	170	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	230	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	230	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	230	280	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	230	250	3φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Sedang	3	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	220	280	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	220	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	220	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	230	300	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	240	260	3φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	220	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Lunak	3	180	210	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	210	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	230	280	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	230	270	3φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	230	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	240	300	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	270	3φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	230	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150		

Tabel 9. Hasil Perencanaan Kolom, Sloof dan Balok Bangunan Dua Lantai Dua Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof									Balok								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan						Dimensi (mm)		Tulangan							
		B	H	Ujung	Tengah	Begel	B	H	Tumpuan			Lapangan			B	H	Tumpuan			Lapangan				
									Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel			Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	250	250	8φ 12	8φ 12	φ 8-150	220	250	4φ 12	3φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	220	250	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150		
	4	300	300	8φ 12	8φ 12	φ 8-150	250	300	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	300	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150		
	5	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	300	400	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	400	5φ 19	3φ 19	φ 8-125	2φ 19	3φ 19	φ 8-150		
Sedang	3	270	270	8φ 12	8φ 12	φ 8-150	230	270	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	230	270	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150		
	4	350	350	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	270	350	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	270	350	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150		
	5	450	450	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	300	450	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	450	5φ 19	3φ 19	φ 8-125	2φ 19	3φ 19	φ 8-150		
Lunak	3	300	300	8φ 12	8φ 12	φ 8-150	250	300	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	300	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150		
	4	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	300	400	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	400	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150		
	5	450	450	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	300	450	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	450	5φ 19	3φ 19	φ 8-125	2φ 19	3φ 19	φ 8-150		

Tabel 10. Hasil Perencanaan Ring Balk, Balok Miring dan Balok Anak Bangunan Dua Lantai Dua Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring									Balok Anak								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan						Dimensi (mm)		Tulangan							
		B	H	Utama		Begel	B	H	Tumpuan			Lapangan			B	H	Tumpuan			Lapangan				
				Atas	Bawah				Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel			Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	170	200	2φ 10	2φ 10	φ 8-150	170	200	2φ 10	2φ 10	φ 8-150	2φ 10	2φ 10	φ 8-150										
	4	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	200	230	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	250	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Sedang	3	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	200	230	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	250	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Lunak	3	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	220	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	250	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	300	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		

Tabel 11. Hasil Perencanaan Kolom, Sloof dan Balok Bangunan Dua Lantai Tiga Bentang atau Lebih

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof									Balok								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan						Dimensi (mm)		Tulangan							
				Ujung	Tengah	Begel			Tumpuan			Lapangan					Tumpuan			Lapangan				
		B	H				Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel				
Keras	3	260	260	4φ 16	4φ 16	φ 8-150	200	250	4φ 12	3φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150	220	270	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150		
	4	320	320	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	250	300	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	300	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150		
	5	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	250	300	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	270	470	6φ 19	3φ 19	φ 8-125	2φ 19	3φ 19	φ 8-150		
Sedang	3	280	280	4φ 16	4φ 16	φ 8-150	220	250	5φ 12	3φ 12	φ 8-150	2φ 12	3φ 12	φ 8-150	230	280	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150		
	4	350	350	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	270	300	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150	270	320	4φ 19	2φ 19	φ 8-150	2φ 19	2φ 19	φ 8-150		
	5	420	420	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	270	320	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150	270	480	7φ 19	3φ 19	φ 8-125	2φ 19	3φ 19	φ 8-150		
Lunak	3	320	320	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	230	260	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	300	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150		
	4	370	370	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	280	300	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150	300	350	4φ 19	2φ 19	φ 8-150	2φ 19	2φ 19	φ 8-150		
	5	450	450	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	280	330	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150	300	500	7φ 19	4φ 19	φ 8-125	3φ 19	3φ 19	φ 8-150		

Tabel 12. Hasil Perencanaan Ring Balk, Balok Miring dan Balok Anak Bangunan Dua Lantai Tiga Bentang atau Lebih

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring									Balok Anak								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan						Dimensi (mm)		Tulangan							
				Utama	Bawah	Begel			Tumpuan			Lapangan					Tumpuan			Lapangan				
		B	H				Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah
Keras	3	170	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	160	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	200	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	200	300	4φ 12	4φ 12	φ 8-150	200	300	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	250	300	3φ 16	3φ 16	φ 8-150	3φ 16	3φ 16	φ 8-150		
Sedang	3	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	170	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	220	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	220	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	220	300	3φ 16	3φ 16	φ 8-150	220	300	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	270	300	3φ 16	3φ 16	φ 8-150	3φ 16	3φ 16	φ 8-150		
Lunak	3	200	220	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	230	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	220	250	3φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	230	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	230	300	3φ 16	3φ 16	φ 8-150	230	300	4φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	280	300	3φ 16	3φ 16	φ 8-150	3φ 16	3φ 16	φ 8-150		

Tabel 13. Hasil Perencanaan Kolom, Sloof, dan Balok Bangunan Tiga Lantai Satu Bentang

Kondisi Tanah	Bentang (m)	Kolom					Sloof							Balok								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan					Dimensi (mm)		Tulangan						
				Ujung	Tengah	Begel			Tumpuan			Lapangan				Tumpuan			Lapangan			
		B	H				Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	300	300	8φ 12	8φ 12	φ 8-150	180	240	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	300	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150
	4	330	330	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	230	280	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	270	350	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150
	5	370	370	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	230	300	4φ 19	2φ 19	φ 8-150	2φ 19	2φ 19	φ 8-150	300	400	5φ 19	3φ 19	φ 8-150	2φ 19	3φ 19	φ 8-150
Sedang	3	330	330	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	190	250	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	270	330	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150
	4	350	350	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	250	300	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	280	360	6φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150
	5	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	250	300	5φ 19	3φ 19	φ 8-150	2φ 19	3φ 19	φ 8-150	320	400	6φ 19	4φ 19	φ 8-125	3φ 19	4φ 19	φ 8-150
Lunak	3	350	350	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	200	260	4φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	280	350	5φ 16	4φ 16	φ 8-150	2φ 16	4φ 16	φ 8-150
	4	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	260	300	4φ 19	2φ 19	φ 8-150	2φ 19	2φ 19	φ 8-150	300	370	6φ 19	3φ 19	φ 8-150	2φ 19	3φ 19	φ 8-150
	5	450	450	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	270	330	5φ 19	3φ 19	φ 8-150	2φ 19	3φ 19	φ 8-150	350	450	5φ 22	3φ 22	φ 8-125	2φ 22	3φ 22	φ 8-150

Tabel 14. Hasil Perencanaan Ring Balk, Balok Miring dan Balok Anak Bangunan Tiga Lantai Satu Bentang

Kondisi Tanah	Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring							Balok Anak										
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan					Dimensi (mm)		Tulangan								
				Utama	Begel	Tumpuan			Lapangan		Tumpuan					Lapangan								
		B	H			Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel
Keras	3	170	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	170	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	230	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	230	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	230	280	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	230	250	3φ 12	2φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	220	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Sedang	3	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	220	280	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	220	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	220	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	230	300	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	240	260	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	220	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Lunak	3	180	210	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	210	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	230	280	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	230	270	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	230	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	240	300	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	270	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	230	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		

Tabel 15. Hasil Perencanaan Kolom, Sloof, dan Balok Bangunan Tiga Lantai Dua Bentang

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof							Balok								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan					Dimensi (mm)		Tulangan						
				Ujung	Tengah	Begel			Tumpuan			Lapangan				Tumpuan			Lapangan			
		B	H				Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	350	350	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	250	300	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	350	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150
	4	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	300	400	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	400	5φ 16	4φ 16	φ 8-150	2φ 16	4φ 16	φ 8-150
	5	450	450	8φ 19	8φ 19	φ 10-100	300	450	5φ 16	3φ 16	φ 8-100	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	300	450	5φ 19	3φ 19	φ 10-100	2φ 19	3φ 19	φ 10-150
Sedang	3	370	370	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	250	370	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	270	4φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150
	4	430	430	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	300	450	4φ 19	3φ 19	φ 8-150	2φ 19	3φ 19	φ 8-150	300	400	5φ 19	3φ 19	φ 8-150	2φ 19	3φ 19	φ 8-150
	5	450	450	8φ 19	8φ 19	φ 10-100	300	470	4φ 19	3φ 19	φ 8-100	3φ 19	3φ 19	φ 8-150	300	470	6φ 19	3φ 19	φ 10-100	2φ 19	3φ 19	φ 10-150
Lunak	3	400	400	8φ 16	8φ 16	φ 8-150	250	400	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	400	5φ 16	3φ 16	φ 8-150	2φ 16	3φ 16	φ 8-150
	4	430	430	8φ 19	8φ 19	φ 8-150	300	400	3φ 16	2φ 16	φ 8-150	2φ 19	3φ 19	φ 8-150	300	450	5φ 19	3φ 19	φ 8-150	3φ 19	3φ 19	φ 8-150
	5	450	450	8φ 19	8φ 19	φ 10-100	300	500	4φ 16	2φ 16	φ 8-100	3φ 19	3φ 19	φ 8-150	300	500	5φ 22	3φ 22	φ 10-100	3φ 22	3φ 22	φ 10-150

Tabel 16. Hasil Perencanaan Ring Balk, Balok Miring dan Balok Anak Bangunan Tiga Lantai Dua Bentang

Kondisi Tanah	Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring							Balok Anak										
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan					Dimensi (mm)		Tulangan								
				Utama	Begel	Tumpuan			Lapangan		Tumpuan					Lapangan								
		B	H			Atas	Bawah	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel			
Keras	3	170	200	2φ 10	2φ 10	φ 8-150	170	200	2φ 10	2φ 10	φ 8-150	2φ 10	2φ 10	φ 8-150										
	4	200	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	200	230	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	250	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Sedang	3	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	200	230	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	200	230	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	250	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		
Lunak	3	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	180	200	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150										
	4	200	250	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	220	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	200	250	2φ 12	2φ 12	φ 8-150	2φ 12	2φ 12	φ 8-150		
	5	220	250	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	250	250	2φ 16	2φ 16	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	200	300	3φ 12	3φ 12	φ 8-150	3φ 12	3φ 12	φ 8-150		

Tabel 17. Hasil Perencanaan Kolom, Sloof, dan Balok Bangunan Tiga Lantai Tiga Bentang atau Lebih

Kondisi Tanah	Lebar Bentang (m)	Kolom					Sloof							Balok								
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan					Dimensi (mm)		Tulangan						
				Ujung	Tengah	Begel			Tumpuan			Lapangan				Tumpuan			Lapangan			
		B	H				Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	300	300	8 $\phi$ 16	8 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	200	250	6 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	250	320	4 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150
	4	320	320	8 $\phi$ 16	8 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	250	300	4 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	260	320	6 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150
	5	430	430	8 $\phi$ 19	8 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	250	300	4 $\phi$ 19	2 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 19	2 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	270	470	6 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-125	2 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150
Sedang	3	350	350	8 $\phi$ 16	8 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	220	250	5 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	270	330	5 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150
	4	350	350	8 $\phi$ 16	8 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	270	300	5 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	280	340	5 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-125	2 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150
	5	460	460	8 $\phi$ 19	8 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	270	320	5 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	280	480	7 $\phi$ 19	4 $\phi$ 19	$\phi$ 8-125	2 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150
Lunak	3	420	420	8 $\phi$ 19	8 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	230	260	5 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	280	350	5 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150
	4	430	430	8 $\phi$ 19	8 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	280	300	4 $\phi$ 19	2 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 19	2 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	300	370	5 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-125	2 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150
	5	530	530	8 $\phi$ 22	8 $\phi$ 22	$\phi$ 8-125	280	330	5 $\phi$ 19	2 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 19	2 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150	300	500	7 $\phi$ 19	4 $\phi$ 19	$\phi$ 8-125	2 $\phi$ 19	3 $\phi$ 19	$\phi$ 8-150

Tabel 18. Hasil Perencanaan Ring Balk, Balok Miring dan Balok Anak Bangunan Tiga Lantai Tiga Bentang atau Lebih

Kondisi Tanah	Bentang (m)	Ring Balk					Balok Miring							Balok Anak										
		Dimensi (mm)		Tulangan			Dimensi (mm)		Tulangan					Dimensi (mm)		Tulangan								
				Utama	Begel	Tumpuan			Lapangan		Tumpuan					Lapangan								
		B	H			Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel	B	H	Atas	Bawah	Begel	Atas	Bawah	Begel		
Keras	3	170	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	160	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150										
	4	200	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	250	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150		
	5	200	300	4 $\phi$ 12	4 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	300	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	250	300	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150		
Sedang	3	180	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	170	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150										
	4	220	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	200	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	220	250	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150		
	5	220	300	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	220	300	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	270	300	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150		
Lunak	3	200	220	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	180	200	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150										
	4	230	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	220	250	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	3 $\phi$ 12	3 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	230	250	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	$\phi$ 8-150		
	5	230	300	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	230	300	2 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	2 $\phi$ 16	2 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	280	300	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150	3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 16	$\phi$ 8-150		

## **BAB VIII**

### **PERBAIKAN BANGUNAN PASCA GEMPA BUMI**

#### **8.1. Retak Rambut pada Dinding.**

Disebut demikian karena sangat tipis dan lembut, retak ini lebarnya tidak lebih dari 1 mm, dan tidak tembus kesisi dinding lainnya, Penyebabnya : kurang sempurnanya pengerjaan, pengerjaan acian, plesteran tidak disiram dahulu, atau plesteran belum benar-benar kering, campuran untuk plester kurang sempurna, dapat juga akibat dari pemakaian cat yang tidak mempunyai elastisitas baik.

Solusinya : Kupas seluruh cat, dengan menggunakan sekrap, kemudian diampelas sampai plamir benar benar hilang sampai terlihat acian dinding. Bersihkan dinding dengan lapisan yang basah untuk menghilangkan debu. Kwaskan wall sealer, dengan menggunakan kwas atau rol, untuk 1 liter wall sealer dapat menutup permukaan dinding 10-14 m<sup>2</sup>. Setelah kering (antara 2 – 3 jam), kemudian dinding di wall filler pada seluruh bagian dinding yg retak dengan menggunakan kape atau scrap, setelah benar- benar kering (waktu pengeringan 2 jam – 6 jam). Kemudian dinding didempul dan di ampelas. Setelah dinding diampelas, kwaskan lagi dengan wall sealer. Tahapan berikutnya adalah pengecatan.

#### **8.2. Retak struktur**

Retak yang lebarnya lebih dari 2 mm, dan tembus kesisi sebelahnya, retak struktur akibat dari pergerakan fondasi, yaitu penurunan fondasi dikarenakan daya dukung tanah tidak mampu mendukung beban yang diterima oleh fondasi, dapat juga disebabkan oleh fondasi atau sloof yang tidak mampu mendukung beban di atasnya karena kualitas bahan untuk pembuatan fondasi ataupun sloof kurang baik atau cara pengerjaan yang kurang sempurna.

Solusinya : Sebelum melakukan tindakan perbaikan harus diketahui dahulu kerusakan tersebut disebabkan oleh apa. Yaitu dengan cara menggali disisi dinding yang retak, apabila disebabkan oleh tidak mampunya tanah mendukung beban yang diterima oleh fondasi ditandai dengan adanya patahan pada fondasi maupun sloof secara vertikal, untuk mencegah agar fondasi tidak turun kembali, dari sisi samping ditrucuk/dipancang dengan bambu diameter 10 cm panjang 100 cm dengan cara dipalu dg bodem. Langkah selanjutnya perbaikan fondasi yaitu dibongkar pada bagian yang retak, sebaiknya setelah dibongkar saat akan memasang kembali batu fondasi gunakan lem beton (Stirobond atau Calbond), untuk perbaikan sloof, betel sekitar 50 cm pada lokasi yang retak, kemudian tambahkan tulangan diameter 10 cm, saat melakukan pengecoran ulang , sebelum dicor sebaiknya gunakan lem beton. Perbaikan dinding dg cara plesteran dibetel selebar 5 cm pada lokasi yang retak, sebelum diplester kembali, lem dengan menggunakan lem beton.

#### **8.3. Balok Beton Retak**

Retak struktur pada balok memiliki pola vertikal atau diagonal, selain itu terdapat juga pola retak-retak rambut. Keretakan balok beton dapat dikategorikan menjadi retak struktur yang terdiri dari retak lentur yang memiliki pola vertikal/tegak biasanya disebabkan oleh beban yang melebihi kemampuan balok dan retak geser yang memiliki pola diagonal/miring biasa terjadi setelah adanya retak lentur yang memiliki pola vertikal. Retak geser juga dapat terjadi jika balok terkena gaya gempa. Selain itu keretakan balok dapat disebabkan proses pengerjaan yang kurang sempurna.

Solusinya : Untuk balok beton yang di bawahnya terdapat dinding, dapat dibuat kolom/tiang kecil tambahan disekitar retakan. Fungsi kolom ini adalah untuk menopang balok dan membantu menyalurkan beban ke bawah/pondasi. Untuk balok beton yang di bawahnya tidak memungkinkan

diberi kolom tambahan, pertama-tama diberi injeksi epoxy pada retakan, kemudian dilakukan pembesaran dimensi balok dengan perkuatan eksternal. Untuk retakan kecil, cukup dilakukan penambalan dengan plesteran. Tujuannya agar tulangan besi tidak berhubungan langsung dengan udara luar yang dapat menyebabkan karat.

#### **8.4. Kolom Retak**

Keretakan pada kolom bisa dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu : kerusakan yang sifatnya tidak membahayakan, sedang dan membahayakan bila tidak segera ditangani.

- a. Retak Geser : Retak dengan pola diagonal/miring pada kolom biasanya disebut retak geser, yang disebabkan oleh gaya pada arah horisontal/datar. Retak geser seperti ini cukup membahayakan bila tidak segera di tangani, karena bisa menyebabkan kolom roboh dan tidak mampu menopang bangunan.
- b. Retak Lentur : Retak dengan pola horisontal/datar biasanya disebut retak lentur, disebabkan oleh tekanan yang berlebihan pada kolom. Seperti halnya retak geser, retak lentur perlu ditangani dengan cermat.
- c. Selimut Beton Terkelupas : Selimut beton pada kolom terkelupas, dapat disebabkan oleh rendahnya kualitas/mutu beton yang digunakan, sehingga kekuatan beton terhadap tekanan berkurang dan selimut beton mudah pecah. Kontrol terhadap tahapan pembangunan sangat diperlukan untuk mencegah penurunan kualitas beton.
- d. Tulangan bengkok : Kerusakan pada kolom dimana tulangan besi utama terlihat bengkok. Secara kasat mata terlihat kolom sedikit bengkok. Hal ini diakibatkan kurangnya jumlah dan atau kurangnya ukuran besi pengikat (sengkang).

Solusinya : Untuk retak diagonal dan retak horisontal perlu dilakukan pemeriksaan kekuatan kolom, apabila kolom masih cukup kuat cukup dilakukan grouting dengan cairan epoxy pada daerah tekan. Jika setelah di analisa kolom kurang kuat, maka diperlukan pelebaran ukuran kolom. Pelebaran ini dilakukan untuk memperkuat kolom sehingga mampu menahan beban di atasnya. Untuk retak-retak kecil, cukup dilakukan penambahan dengan plesteran agar tulangan besi tidak berhubungan dengan udara luar yang dapat menyebabkan karat.

#### **8.5. Keramik Pecah, Akibat Lantai Beton Retak**

Pecahnya keramik lantai bisa disebabkan oleh beton di bawahnya. Lantai beton yang terkena beban yang melebihi kapasitasnya akan retak/pecah. Akibatnya lantai keramik yang menempel di atasnya turut retak/pecah. Adanya gempa menyebabkan lantai beton terkena gaya geser sehingga mengalami pergerakan. Gerakan ini juga dapat menyebabkan lantai keramik di atasnya retak/pecah. Penggunaan kualitas beton yang tidak memenuhi syarat. Misalnya komposisi campuran semen, pasir dan air yang tidak sesuai atau menggunakan air yang kotor dapat menyebabkan lantai beton retak. Kesalahan teknis dalam pengerjaan lantai beton, misalnya kekeliruan pada susunan anyaman besi beton, posisi sambungan coran beton, perancah/bekisting dilepas sebelum beton cukup keras.

Solusinya : Lepaskan lantai keramik yang pecah dan kikis retakan pada lantai beton. Beri cairan kimia khusus untuk menutup retakan. Tutup kembali permukaan lantai beton yang sudah diperbaiki dengan keramik.

#### **8.6. Dinding Pagar Miring**

Sering kita jumpai dinding pagar tembok yang miring atau hampir roboh. Tentu saja akan membahayakan bila dinding roboh dan menimpa lingkungan di sekitarnya atau orang yang melintas. Apa saja penyebab dinding pagar tembok roboh? Pertama letak pondasi kurang dalam sehingga tidak

mampu menahan beban dinding pagar di atasnya, akibatnya dinding miring. Kedua, dinding pagar tembok terkena beban angin/dorongan yang besar. Adanya perubahan karakteristik tanah di sekitar pondasi pagar yang mengakibatkan daya dukung tanah berkurang, sehingga memperlemah pondasi.

Solusinya : Gali tanah di sekitar pondasi, luruskan pagar yang miring dengan penambahan perkuatan sementara, berupa penopang kayu/besi pada dinding pagar. Buat pondasi dan sloof di belakang pagar sebagai tempat duduk kolom/tiang penopang. Buat kolom/tiang berbentuk segitiga untuk menahan kemiringan pagar. Ukuran tiang disesuaikan dengan beban dinding yang ditopang.

### **8.7. Pondasi Batu Kali Turun**

Penyebab : Lapisan tanah di bawah pondasi kurang padat/kurang keras sehingga tidak mampu menopang beban di atasnya. Ukuran pondasi kurang besar, tidak sesuai dengan beban bangunan di atasnya. Posisi/letak pondasi berada dalam sudut longsor tanah. Tanah mengalami perubahan karakteristik akibat kejadian alam seperti adanya *liquifaction*.

Penyelesaiannya : Buat pondasi baru yang berada dekat dengan pondasi yang turun. Tujuannya untuk membagi beban yang berlebih. Padatkan permukaan tanah di bawah pondasi yang baru dengan cara manual atau dengan bantuan mesin stamper sehingga daya dukung tanah meningkat. Perbaiki ketinggian balok dan dinding yang rusak akibat penurunan pondasi. Buat tiang di atas pondasi baru untuk menghentikan penurunan.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Sarwidi, 2004, *Manual Bangunan Tahan Gempa*, CEDEDS UII, Yogyakarta.
- Kimpraswil, 2008, *Materi Workshop Penyusunan Panduan Praktis Perancangan Rumah Tahan Gempa Daerah Istimewa Yogyakarta*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Yogyakarta.
- Kimpraswil, 2003, *SNI 03-1726-2003 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Kimpraswil, 2002, *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta.
- DPU, 1989, *SNI 03-1727-1989F Pedoman Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung*, Bandung.