

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bangunan gedung bertingkat memiliki beberapa komponen struktur atas salah satunya adalah pelat. Pelat adalah salah satu elemen struktur yang sifatnya lebih dominan terhadap lentur dengan bentuk yang melebar dan ketebalan yang relatif kecil. Sistem pelat terdiri dari beberapa macam yaitu sistem flat plate, sistem waffle slab, sistem flat slab, rib slab dan sistem pelat konvensional. Masing-masing sistem pelat memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Pemilihan berbagai sistem pelat ini disesuaikan dengan tujuan dari struktur yang diinginkan. Penelitian mengenai perbandingan berbagai sistem pelat ini sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Diantaranya adalah penelitian mengenai perbandingan sistem pelat konvensional dan sistem flat slab ditinjau dari segi ketebalan plat dan kebutuhan tulangnya.

Dari uraian diatas bahwa secara keseluruhan, sistem flat slab memiliki biaya struktur yang paling murah. Perbandingan sistem pelat konvensional, rib slab, dan flat slab dengan balok semu ditinjau dari segi biaya struktur dan sesuai dengan peraturan SNI-2847:2019. urutan sistem pelat yang memerlukan biaya konstruksi terendah yaitu pelat konvensional, flat slab dengan balok semu, dan rib slab. Pelat konvensional merupakan sistem pelat yang membutuhkan biaya konstruksi yang paling rendah. Sistem pelat waffle Slab memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah mempunyai kekakuan yang besar, jumlah kolom-kolomnya dapat dikurangi sehingga dapat memberi ruang yang lebih luas dan

tebal pelat yang tipis. oleh karena itu, tulisan ini mencoba menganalisa perbandingan kinerja struktur gedung menggunakan waffle slab dan pelat konvensional.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah didapat sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan bentang maksimum pada sistem waffle slab dan sistem pelat konvensional
2. Bagaimana perbandingan tebal pelat minimum pada sistem waffle slab dan sistem pelat konvensional
3. Bagaimana perbandingan kebutuhan tulangan pada sistem waffle slab dan sistem pelat konvensional

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan dalam Skripsi ini adalah

1. Standar analisis yang digunakan adalah SNI-2847 : 2019
2. Analisis dan desain perbandingan penggunaan sistem waffle slab dan pelat konvensional ditinjau dari segi ketebalan pelat, bentang maksimum dan penggunaan tulangan

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka Tujuan dalam Skripsi ini adalah

1. Memperoleh perbandingan bentang maksimum sistem slab waffle dan sistem pelat konvensional

2. Memperoleh perbandingan tebal pelat minimum slab waffle dan pelat konvensional sesuai dengan ketentuan SNI-2847:2019
3. Memperoleh perbandingan kebutuhan tulangan untuk sistem slab waffle dan pelat konvensional

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari Skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan dibidang perencanaan komponen struktur khususnya perencanaan pelat waffle slab dan pelat konvensional
2. Menambah referensi dalam merencanakan sistem struktur lantai slab waffle dan pelat konvensional dengan SNI-2847:2019
3. Sebagai pertimbangan pemilihan sistem struktur yang digunakan dengan menyesuaikan wilayah pembangunan

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Skripsi ini terdiri dari lima bab, yang disusun dengan sistematika berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan Skripsi.

#### **BAB II : TINJUAN PUSTAKA**

Hal ini meliputi pengambilan teori-teori studi literatur, rumus dan gambar, serta tabel yang diperoleh dari sumber referensi yang mendukung dalam menganalisa permasalahan yang dibahas pada Skripsi ini.

**BAB III : METHODOLOGI PENULISAN**

Bab ini berisikan skema atau alur penyusunan tugas akhir, mulai dari tahap awal pengumpulan data sampai mendapatkan hasil analisa perhitungan .

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan untuk menghasilkan suatu kesimpulan dan rekomendasi atau saran yang harus diberikan untuk penelitian lebih lanjut.

**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

ini memuat tentang kesimpulan dan rekomendasi yang diberikan bagi peneliti selanjutnya maupun bagi institusi

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Sistem Struktur**

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang sampai saat ini sedang dalam pembangunan di segala bidang, yang salah satunya adalah pembangunan dalam bidang konstruksi. Perkembangan jasa konstruksi di Indonesia saat ini berkembang pesat. Hal ini ditandai dengan banyaknya proyek yang dikerjakan dalam skala besar, baik yang dibangun oleh pemerintah, swasta, ataupun gabungan. Perusahaan-perusahaan konstruksi terus berkompetisi untuk mencari metode-metode dalam dunia konstruksi bangunan agar dalam waktu yang singkat dan biaya yang minim didapatkan produk atau jasa yang mempunyai mutu tinggi.

Sistem struktur merupakan kumpulan dan kombinasi dari berbagai elemen struktur yang dihubungkan dan disusun secara teratur, baik secara terpisah maupun menerus yang membentuk suatu totalitas kesatuan struktur. Fungsi utama sistem struktur adalah untuk memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan serta menyalurkannya ke tanah melalui pondasi. Suatu struktur bangunan bertingkat tinggi harus dapat memikul beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati dan beban hidup struktur, sedangkan beban lateral adalah beban angin dan beban gempa. Jika terjadi bencana alam seperti gempa yang merupakan salah satu beban lateral, maka struktur di atasnya akan mengalami pergerakan secara vertikal maupun secara lateral. Sistem struktur tinggi yang dapat memikul gaya

lateral yang dialami oleh bangunan adalah struktur yang dapat memiliki daktilitas yang memadai didaerah joint atau elemen struktur tahan gempa.

## **2.2. Sistem Struktur Gedung Bertingkat**

Sistem struktur pada bangunan merupakan inti kekokohnya bangunan di atas permukaan tanah. Sistem struktur ini berfungsi menahan dan menyalurkan beban gaya horizontal dan vertikal secara merata. Bertambahnya tinggi suatu bangunan maka aksi gaya lateral semakin berarti. Semakin tinggi bangunan, defleksi lateral bangunan semakin besar sehingga dengan pertimbangan kekuatan, kekakuan, dan mutu bahan akan mempengaruhi rancangan suatu gedung bertingkat tinggi. Derajat kekakuan tergantung pada jenis sistem yang dipilih. Efisiensi suatu sistem tertentu berkaitan langsung dengan jumlah bahan yang digunakan. dengan demikian, optimasi suatu struktur untuk kebutuhan ruang tertentu haruslah menghasilkan kekakuan maksimum, tetapi dengan berat sekecil mungkin. Ada berbagai macam teknologi yang diterapkan untuk pembangunan gedung bertingkat. Terutama pada tipe struktur bangunannya.

Ada beberapa tipe struktur yang saat ini paling sering digunakan, yaitu:

1. Sistem struktur Gedung bertingkat Rangka Bracing, yaitu :

- a) Bingkai yang diperkuat adalah rangka vertikal kantilever penahan lateral yang memuat sebagian besar rangka diagonal yang bersama-sama dengan balok utama, membentuk “web/Jaring” dari rangka vertikal, dengan kolom yang bertindak sebagai “chord”.
- b) Anggota bracing menghilangkan lengkungan pada balok dan kolom.
- c) Digunakan dalam konstruksi baja

- d) Sistem ini cocok untuk bangunan bertingkat di kisaran ketinggian rendah hingga menengah.
- e) efisien dan ekonomis untuk meningkatkan kekakuan lateral dan ketahanan sistem rangka kaku.
- f) Sistem ini memungkinkan penggunaan anggota yang ramping di sebuah gedung.
- g) Keuntungan luar biasa dari bracing frame adalah, dapat berulang di atas ketinggian bangunan dengan ekonomi yang jelas dalam desain dan fabrikasi.
- h) Namun, konstruksi ini mungkin menghambat perencanaan internal dan lokasi pintu dan jendela. Itu sebabnya harus digabungkan secara internal bersama dengan garis dinding dan partisi.

2. Sistem struktur rangka kaku, yaitu :

- a) Dalam struktur rangka yang kaku, balok dan kolom dibangun secara monolitik untuk menahan momen yang dikenakan karena beban.
- b) Kekakuan lateral dari suatu rangka yang kaku tergantung pada kekakuan lentur dari kolom, balok utama dan sambungan pada bidang. Sangat cocok untuk bangunan beton bertulang.
- c) Ini dapat digunakan dalam konstruksi baja juga, tetapi koneksi akan mahal.
- d) Salah satu kelebihan dari frame yang kaku adalah kemungkinan perencanaan dan

pemasangan jendela karena pengaturan persegi panjang yang terbuka.

- e) Anggota sistem rangka kaku menahan momen lentur, gaya geser, dan beban aksial.
- f) 20 hingga 25 gedung bertingkat dapat dibangun menggunakan sistem rangka kaku.
- g) Keuntungan dari kerangka yang kaku termasuk kemudahan konstruksi, pekerja dapat mempelajari keterampilan konstruksi dengan mudah, membangun dengan cepat, dan dapat dirancang secara ekonomis. Bentang balok maksimum adalah 12,2 m dan balok bentang yang lebih besar akan mengalami defleksi lateral.
- h) Kerugiannya adalah bobot diri ditantang oleh aksi dari frame yang kaku.
- i) Burj Al Khalifa yang merupakan struktur tertinggi di dunia dibangun menggunakan sistem rangka kaku.

### 3. Sistem bingkai dinding *Wall Frame* (sistem ganda), yaitu :

- a) Ini terdiri dari dinding dan bingkai yang berinteraksi secara horizontal untuk menyediakan sistem yang lebih kuat dan lebih kaku.
- b) Dinding biasanya padat (tidak berlubang oleh bukaan) dan mereka dapat ditemukan di sekitar tangga, lift shaft, dan / atau di sekeliling bangunan.
- c) Dinding mungkin memiliki efek positif pada kinerja bingkai seperti dengan mencegah runtuhnya lantai yang lunak. Sistem rangka dinding yang cocok untuk bangunan dengan jumlah lantai berkisar antara 40-60

lantai yang lebih besar dari pada rangka geser atau rangka kaku secara terpisah.

- d) Bingkai bresing dan rangka kaku baja memberikan keuntungan serupa dari interaksi horizontal.

#### 4. Sistem Dinding Geser, yaitu :

- a) Ini adalah dinding vertikal kontinu yang dibangun dari beton bertulang atau dinding pasangan bata.
  - b) Dinding geser menahan beban gravitasi dan lateral, dan berfungsi sebagai balok kantilever dalam yang sempit.
  - c) Umumnya, dibangun sebagai inti bangunan
  - d) Sangat cocok untuk menguatkan bangunan tinggi baik beton bertulang atau struktur baja. Ini karena dinding geser memiliki kekakuan dan kekuatan bidang yang besar.
  - e) Sistem dinding geser cocok untuk bangunan hotel dan perumahan di mana perencanaan lantai-demi-lantai memungkinkan dinding menjadi kontinu secara vertikal.
  - f) Ini dapat berfungsi sebagai isolator akustik dan api yang sangat baik antara kamar dan apartemen.
- sistem struktur dinding geser dapat ekonomis hingga struktur bangunan 35 lantai.
- g) Dinding geser tidak perlu simetris dalam rencana, tetapi simetri lebih disukai untuk menghindari efek puntir.

5. Sistem struktur Gedung Bertingkat *Core and outrigger*, yaitu :

- a) Outrigger adalah struktur horizontal kaku yang dirancang untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan
- b) Menghubungkan inti atau tulang belakang dengan kolom luar yang berjarak dekat.
- c) Inti pusat mengandung dinding geser atau bingkai yang diperkuat.
- d) Sistem cadik berfungsi dengan mengikat bersama dua sistem struktural (sistem inti dan sistem perimeter), dan membuat bangunan berperilaku hampir seperti kantilever komposit.
- e) *Outriggers* berupa dinding dalam bangunan beton bertulang dan rangka baja.
- f) Sistem *cadik multilevel* dapat menyediakan hingga lima kali hambatan saat sistem cadik tunggal.
- g) Secara praktis, sistem *Outrigger* digunakan untuk bangunan hingga 70 lantai. Meskipun demikian, ini dapat digunakan untuk bangunan yang lebih tinggi
- h) Sistem outrigger tidak hanya menurunkan deformasi bangunan yang dihasilkan dari momen terbalik, tetapi juga efisiensi yang lebih besar dicapai dalam kekuatan penahan.

6. Sistem struktur Gedung Bertingkat *Infilled frame*, yaitu :

- a) Sistem struktur rangka terisi terdiri dari kerangka balok dan kolom yang sebagian isinya diisi dengan pasangan bata, beton bertulang, atau dinding balok.

- b) Dinding pengisi dapat berupa bagian-ketinggian atau sepenuhnya mengisi bingkai.
- c) Dinding mungkin atau mungkin tidak terhubung ke bekisting.
- d) Ketat dan kekuatan dinding yang baik dalam perencanaan mencegah pembengkokan balok dan kolom di bawah beban horizontal. Akibatnya, kinerja struktural bingkai akan ditingkatkan.
- e) Selama gempa bumi, struts kompresi diagonal terbentuk di infill sehingga struktur berperilaku lebih seperti *Braced Frame* daripada *Moment Frame*.
- f) sistem ini dapat membangun hingga 30 gedung bertingkat.

7. *Flat plate and flat slab structural system*, yaitu :

- a) Sistem ini terdiri dari lempengan (flat atau plat) yang terhubung ke kolom (tanpa menggunakan balok).
- b) plat datar adalah sistem framing beton bertulang dua arah yang memanfaatkan pelat dengan ketebalan seragam, bentuk struktural paling sederhana.
- c) Flat slab adalah sistem struktural dua arah yang diperkuat yang mencakup panel jatuhkan atau modal kolom pada kolom untuk menahan beban yang lebih berat dan dengan demikian memungkinkan bentang yang lebih panjang.
- d) Resistensi lateral tergantung pada kekakuan lentur komponen dan koneksinya, dengan pelat sesuai dengan gelagar rangka kaku.
- e) Cocok untuk membangun hingga 25 lantai.

8. Sistem Gedung Bertingkat struktur tabung, yaitu :

- a) Sistem struktur gedung bertingkat ini terdiri dari kolom eksterior dan balok yang menciptakan bingkai kaku, dan bagian interior dari sistem yang merupakan kerangka sederhana yang dirancang untuk mendukung beban gravitasi.
- b) Bangunan itu berperilaku seperti tabung kosong yang setara. Ini secara substansial ekonomis dan membutuhkan setengah dari bahan yang diperlukan untuk konstruksi bangunan berbingkai biasa.
- c) Beban lateral ditangkal oleh berbagai koneksi, kaku atau semi kaku, ditambah jika perlu dengan menguatkan dan elemen rangka.
- d) Ini digunakan untuk pembangunan gedung hingga 60 lantai.
- e) Jenis-jenis sistem struktur tabung meliputi sistem tabung berbingkai , sistem tabung truss , sistem tabung bundel , dan sistem tabung dalam tabung .
- f) Sistem tabung trussed terbentuk ketika bracing eksternal ditambahkan untuk membuat struktur lebih kaku. Tipe struktur ini cocok untuk membangun hingga 100 lantai.
- g) Sistem tabung bundel terdiri dari tabung yang terhubung dan menahan beban yang sangat besar.
- h) Sistem tabung-dalam-tabung (inti lambung) diperoleh, jika inti ditempatkan di dalam struktur rangka tabung.

### **2.3 Plat Lantai**

Plat merupakan suatu elemen struktur yang mempunyai ketebalan relatif kecil jika dibandingkan dengan lebar dan panjangnya. Didalam konstruksi beton, pelat digunakan untuk mendapatkan bidang/permukaan yang rata. Pada umumnya bidang/permukaan atas dan bawah suatu pelat adalah sejajar atau hampir sejajar. Tumpuan pelat pada umumnya dapat berupa balok-balok beton bertulang, struktur baja, dan kolom-kolom. Pelat dapat ditumpu pada tumpuan garis yang menerus, seperti halnya dinding atau balok, tetapi dapat juga ditumpu secara lokal (diatas sebuah kolom beberapa kolom) (Andi, 2016). Sistem penulangan Pelat pada Pelat Konvensional ada dua yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat adalah struktur planar kaku yang secara khusus terbuat dari material monolit yang tingginya lebih kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Beban yang umumnya bekerja pada pelat mempunyai sifat banyak arah dan tersebar. Sejak digunakannya beton bertulang modern untuk pelat, hampir semua gedung menggunakan material ini sebagai elemen pelat. Pelat dapat ditumpu diseluruh tepinya, atau hanya pada titik tertentu (misalnya kolom-kolom), atau campuran menerus dan titik. Kondisi tumpuan dapat berbentuk sederhana atau jepit. Adanya kemungkinan variasi kondisi tumpuan menyebabkan pelat dapat digunakan untuk berbagai keadaan.

Plat lantai adalah lantai yang tidak langsung terletak di atas tanah. Dengan kata lain, plat lantai merupakan tingkat pembatas antara lantai bawah dengan lantai di atasnya. Dalam pembuatannya, plat lantai disokong oleh balok-balok yang bertumpu pada kolom-kolom bangunan. Ketika menggunakan plat lantai

untuk membangun rumah, ketebalannya bervariasi dan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain:

- 1) Besar lendutan (lekungan ke bawah) yang diinginkan
- 2) Lebar jarak antara balok-balok penyangga
- 3) Bahan material konstruksi dan pelat lantai
- 4) Besar beban yang harus didukung.

Pelat beton bertulang merupakan panel-panel beton bertulang yang memungkinkan bertulang satu arah atau dua arah, tergantung system strukturnya. Jika nilai perbandingan antara panjang dan lebar pelat lebih dari 2, digunakan penulangan 1 arah ( *one way slab* ). Dan apabila nilai perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak lebih dari 2 maka digunakan penulangan dua arah ( *two way slab* ). Apabila balok itu sangat kaku, kondisi tumpuan pelat semakin mendekati situasi tumpuan tepi menerus, juga momenmomen yang terjadi pada pelat. Sebaliknya, apabila balok itu sangat fleksibel, perilaku pelat lebih mendekati perilaku yang ditunjukkan oleh kolom-kolom dikeempat pojoknya. Pada perencanaan gedung, baik bertingkat ataupun tidak harus memperhatikan kekuatan, kenyamanan, keekonomisan, dan pengaruh terhadap lingkungan. Aspek-aspek tersebutlah yang harus direncanakan dan diperhitungkan secara matang.

Faktor yang mempengaruhi kekuatan konstruksi adalah beban-beban yang akan dipikul seperti beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Struktur bangunan merupakan komponen utama yang menunjang berdirinya suatu bangunan. Struktur bangunan gedung terdiri dari komponen-komponen di atas

tanah dan komponen-komponen di bawah yang direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat menyalurkan beban ke tanah dasar. Konstruksi dari sebuah bangunan merupakan kebutuhan dasar manusia, dimana tingkat kebutuhan tersebut terus meningkat sejalan dengan perkembangan dan kemajuan teknologi. Konstruksi bangunan pada saat ini merupakan suatu objek yang kompleks, dimana didalam bangunan tersebut diperlukan perhitungan dan analisa yang cermat serta pertimbangan tertentu yang akan menghasilkan suatu bangunan yang memenuhi syarat kokoh, ekonomis maupun estetika. Jenis struktur banyak digunakan pada gedung bertingkat pada umumnya merupakan jenis struktur pelat lantai yang ditumpu oleh balok menerus dimana balok-balok itu ditumpu oleh kolom-kolom. Dengan menganggap bahwa pelat terletak secara sederhana diatas balok, kita akan mendapat kondisi yang terletak diantara situasi pelat hanya diatas empat kolom dan situasi pelat diatas tumpuan menerus.

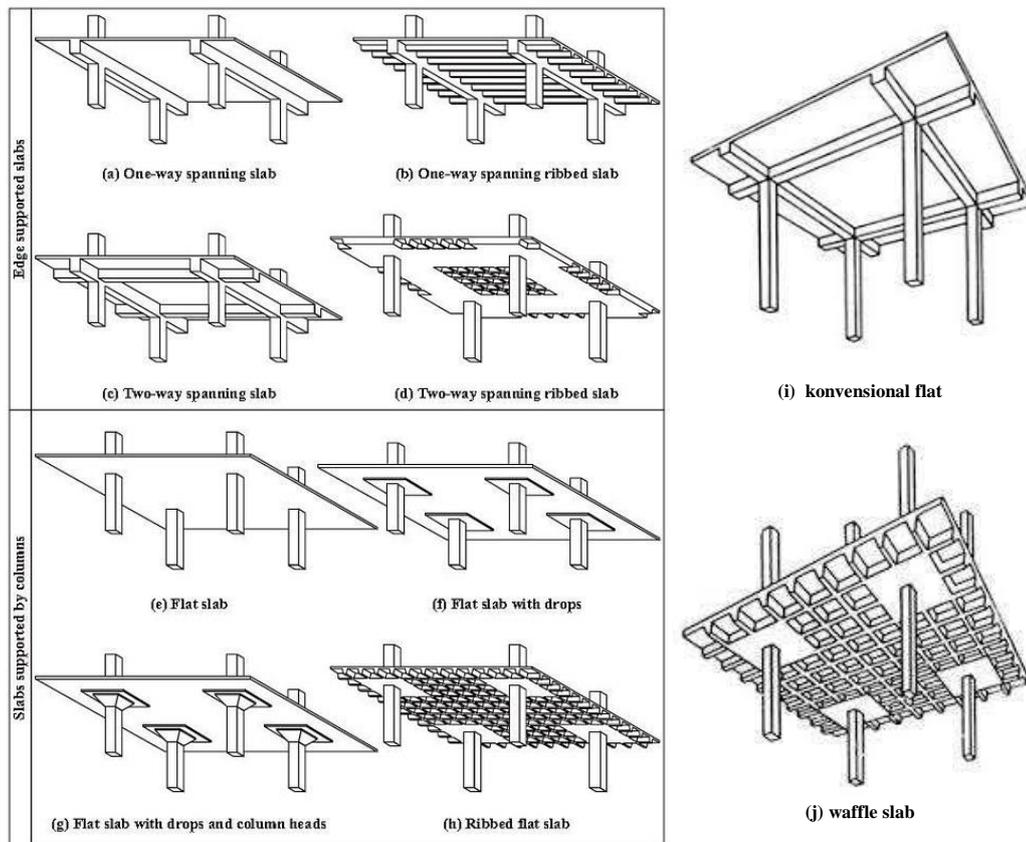
Pembangunan konstruksi gedung beton bertulang dewasa ini terus mengalami peningkatan. Sampai saat ini sebagian besar wilayah di Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa. Hal ini dapat terlihat pada berbagai kejadian gempa dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah di Indonesia dan menyebabkan kerusakan berbagai sarana dan prasarana di daerah-daerah yang terkena dampak bencana tersebut. Kondisi alam ini menyebabkan perlunya pemenuhan terhadap kaidah kaidah Perencanaan atau pelaksanaan sistem struktur tahan gempa pada setiap struktur bangunan yang akan didirikan di wilayah Indonesia, khususnya yang dibangun di wilayah dengan rawan gempa menengah hingga tinggi. Hal ini

bertujuan agar pada saat terjadi gempa, struktur bangunan dapat bertahan dan melindungi penghuninya dari risiko bahaya gempa.

Oleh karena itu, dalam tinjauan struktur suatu konstruksi gedung harus mempertimbangkan terhadap faktor kekuatan, kekakuan, kestabilan dan nilai ekonominya. Untuk menghasilkan bangunan gedung yang baik, maka perancangan didesain dengan analisis struktur yang baik pula. Dengan analisis struktur akan diketahui gaya-gaya dalam struktur seperti momen lentur, gaya-gaya geser dan tegangan-tegangan normal dan geser, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan dimensi dari elemen-elemen struktur.

Berdasarkan UU No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung dalam Pasal 3 menyatakan bahwa untuk mewujudkan bangunan gedung yang fungsional dan sesuai dengan tata bangunan gedung yang serasi dan selaras dengan lingkungannya, harus menjamin keandalan bangunan gedung dari segi keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Kemudian dipertegas lagi dengan PP No. 36 tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-undangan No. 28 tahun 2005 tentang Bangunan Gedung, Pasal 26 ayat (1) menyatakan bahwa keandalan bangunan gedung adalah keadaan bangunan gedung yang memenuhi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan bangunan gedung sesuai dengan kebutuhan fungsi yang telah ditetapkan.

Ada beberapa sistem pelat, diantaranya adalah sistem pelat konvensional, sistem waffle slab (pelat berusuk dua arah), sistem one joist slab (pelat berusuk satu arah), sistem flat plate dan sistem flat slab. Masing-masing pelat tersebut dibedakan oleh penggunaan sejumlah baloknya.



Gambar 2.1. Jenis pelat

Sumber : Tumilar : 2015

Berdasarkan material bahannya, pelat lantai dibagi menjadi 5 jenis yaitu :

### 1) Pelat Lantai Kayu

Pelat lantai kayu terbuat dari bahan kayu, yang dirangkai dan disatukan menjadi satu kesatuan yang kuat, sehingga terbentuklah bidang injak yang luas. Berbagai kelebihan penggunaan pelat lantai kayu adalah ekonomis dikarenakan harganya yang relatif murah dan hemat ukuran pondasi dikarenakan beratnya yang ringan dan mudah dikerjakan. Sedangkan beberapa kekurangan penggunaan pelat lantai kayu adalah hanya diperbolehkan untuk struktur konstruksi bangunan yang sederhana dan ringan, bukan benda peredam suara yang baik, karena itu

suara langkah kaki yang ditimbulkan di lantai atas bisa terdengar oleh penghuni yang sedang berada di lantai bawahnya sehingga mengganggu penghuninya, plat lantai kayu ini juga mempunyai sifat yang mudah terbakar, tidak tahan lama/tidak awet, karena bisa dimakan oleh serangga pemakan kayu, mudah terpengaruh oleh cuaca, seperti hujan, panas dan tidak dapat dipasangi keramik.

## 2) Pelat Lantai Konvensional

Menurut Muhammad Rahman Rambe (2018), pelat lantai konvensional merupakan pelat beton bertulang yang biasa digunakan pada bangunan sipil, baik sebagai lantai bangunan sipil, baik sebagai lantai bangunan, lantai atap dari suatu gedung, lantai jembatan maupun lantai pada dermaga. Berdasarkan fungsinya untuk menyalurkan gaya akibat beban, pelat dibedakan menjadi :

- a) Pelat satu arah ini akan digunakan jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja.
- b) Pelat dua arah biasa digunakan jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah.

## 3) Pelat Lantai Bounceck

Pelat lantai bounceck adalah pelat komposit yang menggunakan bounceck (*steel deck*) sebagai pengganti tulangan momen positif (tulangan bawah), dimana steel deck (pelat baja) ini juga sekaligus sudah berfungsi sebagai pengganti bekisting pelat dan lantai kerja, sedangkan untuk tulangan momen negatif bisa menggunakan tulangan baja biasa atau menggunakan wiremesh. Menurut Aiman (2014), bounceck merupakan geladak baja galvanis yang memiliki daya tahan tinggi dan berfungsi ganda dalam konstruksi pelat beton, yakni sebagai penyangga

permanen juga sebagai penulangan positif suatu pelat. Lembaran boundeck ini berbentuk pelat gelombang yang terbuat dari baja struktural yang memiliki ketebalan 0,70 – 1,2 mm yang digalvanis secara merata. Boundeck atau pelat baja bergelombang jika dikombinasikan dengan campuran beton dan ditambahkan wiremesh akan membentuk suatu sistem pelat lantai komposit yang sempurna (Andi Tenri Uji, 2011).

#### 4) Wiremesh

*Wiremesh* merupakan jaring baja tulangan prefabrication, yang pada tiap titik pertemuan tulangnya disatukan dengan menggunakan las listrik, untuk mendapatkan kuat geser ekstra kuat pada tiap sambungan silangan tulangnya. Tulangan baja yang digunakan adalah dari mutu U50.

#### 5) Pelat Lantai Precast

Menurut Ervianto (2006), precast dapat diartikan sebagai suatu proses produksi struktur bangunan pada suatu tempat/lokasi yang berbeda dengan tempat/lokasi dimana elemen struktur tersebut akan digunakan. Jenis-jenis pelat precast adalah :

- a) *Solid flat slab* atau *precast full slab* yaitu pelat precast dengan ketebalan penuh sesuai dengan tebal pelat yang ditentukan.
- b) *Hollow core slab* yaitu sama dengan pelat *precast full slab*. Yang membedakan terdapat lubang rongga pada sisinya yang berfungsi untuk meringankan beban struktur.
- c) *Half slab* yaitu pelat precast yang masing membutuhkan pengecoran lagi (*overtopping*). Misalnya direncanakan pelat lantai dengan ketebalan 12

cm, maka digunakan pelat precast dengan ketebalan 7 cm dan pengecoran *overtopping* setebal 5 cm.

Pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) yaitu kumpulan balok T yang saling menyilang dan menyatu pada bidang horizontal dimana gaya-gaya dominan yang bekerja adalah tegak lurus terhadap bidang tersebut dan titik hubung balok T ini bersifat kaku. Pada umumnya pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) ini menggunakan bahan dari konstruksi beton bertulang dengan ketebalan pelat yang tipis dan pemakaian besi tulangan yang cukup hemat pada pelatnya dikarenakan pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) ini memiliki kekakuan yang besar pada pelat sehingga lendutan pada pelat relatif kecil. Di sisi lain pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) juga berpengaruh pada tata letak kolom. Semakin kecilnya lendutan pada balok maka jarak antar kolom pada portal bisa lebih jauh dari struktur yang biasa dan pada umumnya bisa mencapai bentang 7,5 – 12,5 meter. Flate plate atau pelat datar adalah sistem pelat yang meniadakan balok sebagai pendukung pelat. Penggunaan sistem ini membuat pelat menjadi lebih tebal dari pada tebal pelat dengan sistem konvensional. Sistem ini diminati karena waktu pekerjaan pelat relatif berkurang dengan tidak adanya bekisting balok. Konsep yang digunakan pada sistem ini hampir sama dengan sistem flate plate, hanya saja diperlukan penebalan pada kepala kolom.

Macam-macam metode pelaksanaan pelat lantai yaitu :

- a) Metode pelaksanaan pelat lantai konvensional Menurut Najoran (2016), beton konvensional merupakan pemindahan campuran beton cair dari mixer ke tempat dimana penampangan beton akan dicor yaitu bekisting

atau acuan pada struktur yang akan dikerjakan. Adapun tahapan pelaksanaan pekerjaan pelat lantai konvensional di lapangan yaitu pemasangan *scaffolding*, bekisting, pembesian, pengecoran, perawatan beton (*curing*).

- b) Metode pelaksanaan pelat lantai boundeck Menurut Uji (2011), teknik pelaksanaan pekerjaan pelat lantai boundeck di lapangan yaitu pemasangan *scaffolding*, pemasangan boundeck, pemasangan tulangan wiremesh, pengecoran dan perawatan beton (*curing*).
- c) Metode pelaksanaan pelat lantai precast Menurut Ervianto (2006), tahap pelaksanaan beton pracetak yaitu tahap produksi atau pabrikasi, tahap pengiriman, tahapan pemasangan dan pengangkatan, tahap penyambungan dan tahap pengecoran.

### 2.3.1 Pelat berusuk (*Waffle slab*)

Salah satu perkembangan dalam sistem konstruksi adalah waffle slab yaitu pelat beton bertulang yang tidak memiliki balok. Umumnya keseluruhan beban pada pelat disalurkan oleh sistem lantai pada arah melintang dan membujur menuju ke kolom sehingga dapat menyebabkan suatu keadaan dimana kolom akan menembus pelat. Di antara berbagai sistem pelat, sistem waffle slab masih jarang sekali digunakan.

Waffle slab biasanya digunakan pada proyek-proyek khusus yang membutuhkan ruangan yang luas dengan jumlah kolom yang sedikit dan ruangan dengan pelat lantai yang memiliki lendutan yang kecil dan frekuensi getaran yang kecil. Dalam perancangan ini dilakukan Perancangan pada

gedung Hotel Golden Tulip Mataram guna mendapatkan ruangan yang lebih luas tanpa mengubah desain awal secara signifikan, dengan menggunakan sistem waffle slab. Maka bentangan pelat didesain lebih luas dan jumlah kolom dikurangi. Dengan demikian gedung ini dapat berfungsi dengan lebih baik sebagai gedung hotel yang membutuhkan ruangan yang luas. Selain itu, dengan adanya balok waffle maka penggunaan plafond tidak dibutuhkan. Untuk memudahkan perancangan, digunakan software SAP 2000 V.14 dalam membantu pemodelan struktur, pembebanan struktur, dan menganalisa gaya dalam struktur yang dijadikan data dalam perancangan. Beban yang bekerja pada gedung antara lain beban hidup, beban mati dan beban gempa.

Berdasarkan hasil perancangan yang didapatkan dengan sistem waffle slab ini, diperoleh pelat dengan bentang yang luas dan kekakuan yang lebih besar karena balok waffle dapat berperan sebagai jaringan balok anakan. Tebal plat dapat dikurangi dari 120 mm menjadi 60 mm dengan tulangan D10. Balok grid yang digunakan berbentuk persegi dengan tulangan utama D16 dan tulangan sengkang P8. Balok utama dan kolom menggunakan tulangan utama D29 dengan tulangan sengkang P10 untuk balok utama, dan D12 untuk kolom. Kemudian pondasi didesain menggunakan pile cap berdimensi  $5,5 \times 5,5 \times 1,2$  m dengan bore pile berdiameter 0,5 m berjumlah maksimum 16 tiang di setiap kolom, dan dibor sampai kedalaman 20,6 m. Pelat dengan pelat tipis dan kumpulan balok rusuk berbentuk T yang saling menyilang dikenal dengan nama Waffle Slab. Di antara berbagai sistem pelat, sistem waffle slab masih jarang sekali digunakan, padahal sistem waffle slab

memiliki keuntungan yaitu dengan ketebalan pelat yang sangat tipis dan pemakaian besi tulangan yang cukup hemat pada pelatnya dikarenakan pelat waffle slab memiliki kekakuan yang besar pada pelat sehingga lendutan pada pelat relatif kecil. Selain itu, penggunaan sistem waffle slab juga dapat mempengaruhi tata letak kolom. Semakin kecilnya lendutan pada balok maka jarak antar kolom pada portal bisa lebih jauh dari struktur yang biasa.

Pemilihan bahan yang tepat sangat mempengaruhi keberhasilan proyek tersebut karena berdampak pada produktivitas biaya dan metode pelaksanaan. Pekerjaan pelat merupakan salah satu bagian dari konstruksi yang membutuhkan waktu lama dalam proses pembuatannya. Banyak perusahaan kontraktor yang ada saat ini masih menggunakan cara konvensional. Cara konvensional tersebut membutuhkan waktu yang lama karena masih menggunakan tulangan biasa, beton, dan bekisting dari kayu. Sehingga perusahaan-perusahaan penyedia produk atau jasa berkompetisi untuk mencari alternatif metode konstruksi untuk pelat.

Waffle slab merupakan salah satu struktur yang dipakai dalam suatu konstruksi yang menggunakan bahan material dari bangunan beton bertulang. Sistem waffle slab biasanya memakai bahan material dari bangunan beton bertulang dengan tingkat ketebalan relatif tipis dan penggunaan besi tulangan. Sistem waffle slab atau sistem pelat berusuk yang juga dinamakan pelat joist dua arah adalah bentuk pelat lantai yang unik, yang direncanakan bagi bentang lantai 7,50-12,50 m. Waffle slab merupakan pelat tipis dari sekumpulan balok rusuk dengan bentuk T yang saling bersilang dan menyatu pada bidang horizontal. Dari berbagai sistem pelat yang ada, sistem waffle slab masih terlihat jarang dipakai.

Balok waffle slab adalah komponen yang dianggap penting dimana balok dapat menerima kontribusi beban yang paling besar dari keseluruhan beban yang didapat oleh pelat.

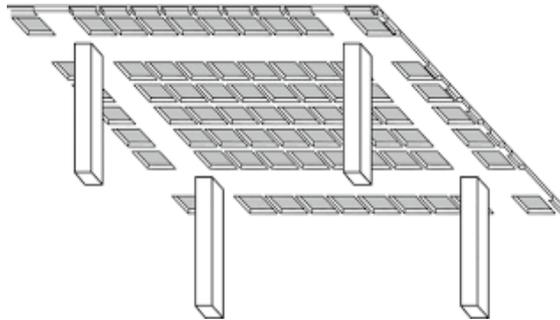
Sistem satu ini mempunyai berbagai keunggulan yakni,

1. ketebalan pelat yang relatif sangat tipis dan penggunaan
2. besi tulangan cukup hemat pada bagian pelat.

Pemakaian waffle slab sendiri dipakai untuk struktur yang umumnya berhubungan dengan aspek getaran, misalnya lab, pabrik, ruang dansa dan lain sebagainya. Aspek getaran yang didapatkan biasanya timbul dari berbagai hal seperti manusia yang tengah menari, berjalan dan beberapa penyebab lainnya. Waffle slab umumnya dimanfaatkan untuk kepentingan struktur bangunan pada sebuah ruangan yang memiliki ukuran besar. Pemakaian kolom pada bangunan dapat berupa, stadium, auditorium maupun ruangan teater. Penggunaan struktur tersebut dapat membatasi utilitas dari bangunan seperti, pencahayaan dan sudut pandang, sehingga pemakaian waffle slab dianggap pilihan tepat. Pelat lantai pada umumnya mempunyai pembukaan yang diperlukan untuk fungsi seperti, tangga, pendingin dan elevator. Bukaan pada pelat dapat berpengaruh buruk pada kekuatan dan kekakuan dari waffle slab.

Pengurangan tersebut disebabkan lantaran berkurangnya kapasitas beton dan baja yang dipakai untuk meningkatkan perkuatan. Bukaan dengan ukuran kecil pada bagian pelat umumnya tidak perlu memperoleh perhatian lebih. Meski demikian, jika ukuran bukaan tersebut memiliki ukuran besar, maka perlu memperoleh perhatian khusus lantaran dapat berdampak cukup besar terhadap

kekuatan dan kekakuan pelat. Pada bentang yang besar, ketebalan lantai yang perlu menyalurkan beban vertikal ke kolom melebihi kapasitas lentur pelat.



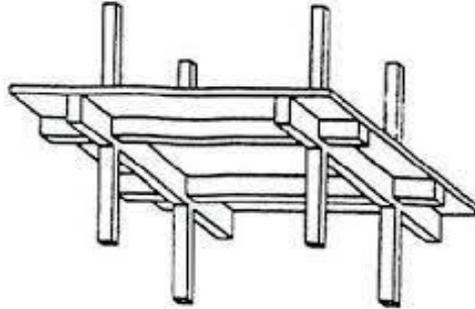
Gambar 2.2. Sistem waffle slab

Sumber : Amrinsyah Nasution : 2009

Dengan demikian, beton ditengah panel tidak digunakan secara efisien (Nasution, 2009). Untuk meringankan bobot lantai, mengurangi momen lantai, dan menghemat bahan, pelat ditengah panel diganti dengan rusuk dua arah atau balok dua arah. Waffle slab memiliki karakteristik pelat yang terdiri dari rusuk-rusuk yang tersusun sedemikian rupa serta dapat dimodelkan sebagai kumpulan dari balok T yang disusun. Sistem waffle slab dikaji sebagai sistem pelat dua arah karena memiliki karakteristik yang sama dengan sistem pelat dua arah konvensional. Pada umumnya pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) ini menggunakan bahan dari konstruksi beton bertulang dengan ketebalan pelat yang tipis dan pemakaian besi tulangan yang cukup hemat pada pelatnya dikarenakan pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) ini memiliki kekakuan yang besar pada pelat sehingga lendutan pada pelat relatif kecil. Di sisi lain pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) juga berpengaruh pada tata letak kolom.

### 2.3.2 Pelat Konvensional

Metode konvensional salah satunya digunakan pada struktur pelat lantai yang dikerjakan langsung ditempat dan dilakukan secara manual dengan merangkai tulangan pada bangunan yang dibuat.



Gambar 2.3.sistem pelat konvensional

Sumber : Amrinsyah Nasution : 2009

Pelaksanaan metode konvensional ini memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu sebagai berikut:

a. Kelebihan

- 1) Penggunaan alat berat relatif sedikit
- 2) Mampu menahan beban besar.
- 3) Dapat mengisolasi suara secara baik.
- 4) Tidak dapat terbakar.
- 5) Terdapat lapisan kedap air.
- 6) Mempermudah pemasangan tegel atau keramik.
- 7) Tahan lama.

b. Kekurangan

- 1) Membutuhkan tenaga kerja yang banyak
- 2) waktu pelaksanaan lebih lama
- 3) Membutuhkan material lebih banyak

Perencanaan dan perhitungan pelat lantai telah diatur oleh pemerintah yang tercantum SNI 2847-2019 yang mencakup beberapa hal antara lain:

1. Pelat lantai mempunyai tebal minimum 12.5 cm, dan untuk pelat atap minimum 7 cm.
2. Harus diberi tulangan silinder dengan diameter minimum 8 mm yang terbuat dari baja lunak atau baja sedang.
3. Pelat lantai dengan tebal lebih dari 25 cm harus dipasang tulangan rangkap diatas dan bawahnya.
4. Jarak tulangan pokok yang sejajar yang sejajar tidak kurang dari 2,5 cm dan tidak lebih dari 20 cm atau dua kali tebal pelat, dan dipilih yang terkecil.
5. Semua tulangan harus dibungkus dengan lapisan beton dengan tebal minimum 1 cm yang berguna untuk melindungi baja dari korosi maupun kebakaran

Pengecoran dilakukan menggunakan *plywood* sebagai bekisting dan scaffolding sebagai perancah. Metode ini terbilang kuno dan paling banyak digunakan namun dapat memakan biaya yang tinggi dan waktu yang lama. Dalam pengerjaan, struktur pelat lantai menggunakan metode bekisting konvensional. Material bekisting secara umum terbuat dari bahan kayu. Kayu lapis tersebut

banyak digunakan karena lebih ekonomis dan mudah dikerjakan, bahan lebih tahan lama untuk kebutuhan proyek-proyek yang besar dan dapat digunakan berulang kali (Ratay, 1996).

Perancah (scaffolding) adalah struktur sementara yang digunakan untuk menyangga manusia dan material dalam konstruksi atau perbaikan gedung dan bangunan-bangunan lainnya. Perancah dibuat apabila pekerjaan bangunan gedung sudah mencapai ketinggian 2 meter dan tidak dapat dijangkau oleh pekerja. Perancah yang terbuat dari material baja dan merupakan produk pabrikasi lebih dikenal dengan istilah scaffolding dibuat di pabrik namun dapat dirangkai di lokasi pembangunan konstruksi karena terdiri dari beberapa komponen. Scaffolding untuk metode pelat konvensional digunakan lebih banyak daripada metode pelat steeldeck karena pelat konvensional mempunyai banyak bekisting sehingga scaffolding harus menyangga hampir semua bagian bekisting. Jarak antar scaffolding untuk bagian pelat maksimal memiliki jarak 60 cm.

Bekisting memiliki fungsi sebagai berikut:

- a) Bekisting menentukan bentuk dari beton yang akan dibuat. Bentuk sederhana dari sebuah konstruksi beton menuntut bekisting yang sederhana
- b) Bekisting harus dapat menyerap dengan aman beban yang ditimbulkan oleh spesi beton dan berbagai beban luar serta getaran. Dalam hal ini perubahan bentuk yang timbul dan geseran-geseran dapat diperkenankan asalkan tidak melampaui toleransi-toleransi tersebut.

- c) Bekisting harus dapat dengan cara sederhana dipasang, dilepas, dan dipindahkan.

### 2.3.3 Tebal Pelat Minimum

Sistem pelat lantai gedung beton bertulang umumnya bidang pelat lantainya ditumpu pada setiap sisinya oleh balok induk atau balok anak. Secara empirik ketebalan pelat lantai gedung ditetapkan sebesar 12 cm, kemudian untuk panel pelat lantai yang luasnya lebih dari 12 m<sup>2</sup> atau bentang sisi pelat yang lebih dari 4 meter cenderung solusi yang diambil dengan menempatkan balok anak. Solusi ini diambil untuk menghindari perhitungan yang rumit, namun berdampak pada penggunaan beton menjadi boros. Upaya untuk mendapatkan ketebalan pelat yang efektif dan efisien harus dilakukan kalkulasi yang cermat sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam standar-standar yang berlaku sehingga biaya yang dibutuhkan dipilih yang paling rendah tanpa mengabaikan aspek keamanan dan keselamatan.

Berikut beberapa syarat ketentuan yang harus diperhatikan dalam menentukan tebal pelat untuk pelat konvensional dan waffle slab:

- 1) Menurut SNI 2847-2019 pasal 8.3.1.2 tebal minimum pelat pada sistem pelat konvensional bergantung pada  $\alpha$  m :

(a) Jika  $\alpha$  m < 0,2 maka  $h \geq 125$  mm.....(2.1)

- (b) Jika  $0,2 \leq \alpha$  m  $\leq 2$  maka:

$$h = \frac{Ln\left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha m - 0.2)} \text{ dan } \geq 125 \text{ mm}.....(2.2)$$

(c) Jika  $\alpha m > 2$  maka:

$$h = \frac{Ln\left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \text{ dan } \geq 90 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana,

$\beta$  = Rasio bentang bersih pelat dalam arah memanjang dan arah memendek.

$Ln$  = Panjang bersih pada arah memanjang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka kemuka tumpuan pada pelat tanpa balok.

$\alpha m$  = Nilai  $\alpha$  rata-rata.

$\alpha$  = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan rumus berikut:

$$\alpha = Ec \times Ib \text{ Ecs} \times Is \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$Ec$  = Modulus elastisitas beton.

$Ecs$  = Modulus elastisitas pelat beton.

$Ib$  = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok.

$Is$  = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat.

2) Menurut SNI 2847-2019 tebal pelat pada sistem waffle slab harus memenuhi syarat berikut:

(a)  $h \geq 50 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.5)$

$$(b) h \geq Ln 12 \dots\dots\dots(2.6)$$

Analisis Penulangan Disain penulangan dilakukan sesuai dengan SNI-2847-2019, dimana disain tulangan ditentukan oleh rasio tulangan. Untuk menjamin struktur dalam keadaan daktail, rasio tulangan harus berada diantara rasio tulangan minimum dan maksimum.

Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{min} = 1,4 f_y \dots\dots\dots(2.7)$$

Ratio tulangan maksimum

$$(\rho_{max}) = 0,75 \rho_b \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$f_y$  = Mutu baja tulangan (Mpa)

$f_c'$  = Mutu beton (Mpa Jumlah luas tulangan yang diperlukan tergantung dari nilai rasio tulangan.

$$A_s = \rho b d \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$A_s$  = Luas Tulangan yang diperlukan

$\rho$  = Rasio tulangan

$b$  dan  $d$  = dimensi elemen struktur beton

Jarak bersih antar tulangan  $s$

(Pasal 9.6.1 SNI 2847-2019)

$$S \geq D \text{ dan } s \geq 25 \text{ mm}$$

Dimensi elemen struktur dan jumlah tulangan yang digunakan memiliki kekuatan menahan beban yang disebut dengan kapasitas.

#### 2.3.4 Lendutan Maksimum

Pada suatu struktur beton harus disyaratkan mempunyai kekakuan yang cukup kuat, agar dapat menahan deformasi akibat lendutan tanpa menimbulkan kerusakan atau gangguan apa pun.

Panjang bentang (L) (SNI 2847-2019)

a. Plat yang tidak menyatu dengan struktur pendukung .

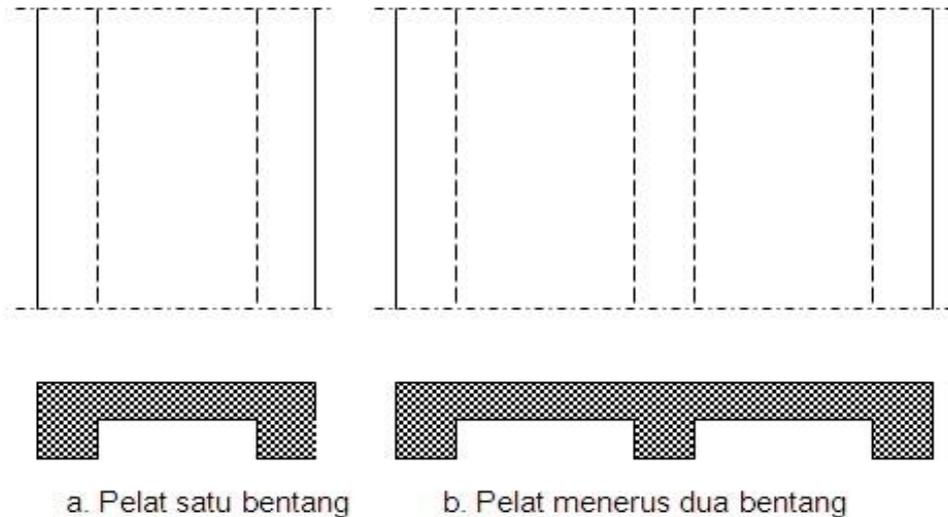
$$L = L_n + h \text{ dan } L \leq L_{as-as} \dots \dots \dots (2.10)$$

b. Plat yang menyatu dengan struktur pendukung

$$\text{Jika } L_n \leq 3,0 \text{ m, maka } L = L_n \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\text{Jika } L_n > 3,0 \text{ m, maka } L = L_n + (2 \times 50 \text{ mm}). \text{ (PBI-1971)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Berdasarkan bentang maksimum dan tebal minimum masing-masing sistem pelat, dilakukan permodelan struktur untuk memperoleh gaya dalam elemen pelat, balok dan kolom. Dimensi elemen struktur dan jumlah tulangan yang digunakan memiliki kekuatan menahan beban yang disebut dengan kapasitas. Hasil analisis struktur ini merupakan data primer yang digunakan untuk mendisain dimensi dan penulangan pelat, balok dan kolom.



Gambar 2.4. Bentang pelat

Sumber : Agus setiawan :2013

Nilai lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi nilai lendutan ijin yang disyaratkan dalam SNI 2847-2019 pasal 11.5.3. Yaitu sebesar:

- a.  $L/480$  untuk Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan besar.
- b.  $L/240$  untuk Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan besar.

#### 2.4. Pembebanan

Dalam proses pembangunan suatu gedung terdapat standar yang menjadi acuan persyaratan, dalam hal ini adalah SNI-2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Standar ini juga mengatur mengenai syarat konstruksi pelat beton bertulang, didalamnya terdapat beberapa ketentuan yang menjadi pedoman dalam proses analisa dan desain pelat lantai terlepas dari metode apa yang akan digunakan nantinya. Untuk pembebanan berdasarkan SNI-

2847:2019 mengacu pada SNI-1727:2019 untuk pembebanan mati dan pembebanan hidup dan SNI 1726 : 2019 untuk pembebanan gempa

#### 2.4.1. Beban mati

Beban mati adalah beban gravitasi yang berasal dari berat semua komponen gedung/bangunan yang bersifat permanen selama masa layan struktur tersebut. Termasuk pula kedalam jenis beban mati adalah unsur-unsur tambahan, mesin serta peralatan tetap yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Selain itu berat sendiri struktur, sistem pemipaan, jaringan listrik, penutup lantai, serta plafon juga termasuk jenis beban mati.

Tabel 2. 1 Beban mati per m<sup>2</sup> pada plat lantai

Jenis Bahan	Berat kN/m <sup>2</sup>
Lapisan <i>Waterproofing</i>	0,10
<i>Ducting</i> Mekanikal	0,19
Penggantung langit langit	0,10
Plafon	0,05

Sumber : Standar perhitungan struktur beton bangunan gedung SNI-1727 : 2019

SNI-1727:2019 untuk beberapa pembebanan mati struktur dan mati tambahan seperti berikut:

Berat sendiri struktur

- Beban material beton bertulang 23,6 kN/m<sup>2</sup>
- Beban dinding ½ bata diambil 2,3 kN/m<sup>2</sup>
- Beban mati tambahan per m<sup>2</sup> pada lantai dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 2 Beban mati per m<sup>2</sup> pada lantai atap

Jenis Bahan	Berat kN/m <sup>2</sup>
Lapisan <i>Waterproofing</i>	0,05
<i>Ducting</i> Mekanikal	0,19
Penggantung langit langit	0,10
Plafon	0,05

Sumber : Standar perhitungan struktur beton bangunan gedung SNI-1727 : 2019

#### 2.4.2 Beban hidup

Beban hidup selain berasal dari penghuni bangunan dapat juga berasal dari barang, mesin ataupun peralatan yang sifatnya dapat berpindah atau memiliki kecenderungan untuk berpindah sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan pada lantai. Beban hidup yaitu jenis beban yang timbul akibat penggunaan suatu gedung selama masa layan gedung tersebut. (Setiawan, 2018). Berat seismik efektif struktur,  $W$ , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 % beban hidup lantai
2. Jika ketentuan desain beban lantai untuk partisi disyaratkan SNI-1727 : 2019 pasal 4.3.2, sebesar beban terbesar antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m<sup>2</sup>;
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenis.

Dan untuk beban hidup lantai berdasarkan SNI-1727:2019 dapat dilihat dalam tabel berikut ini

Tabel 2. 3 Beban hidup

Hunian atau penggunaan	Beban merata (kN/m <sup>2</sup> )
Ruang kantor	2,4
Ruang komputer	4,79
Ruang pertemuan	4,79
Ruang makan dan restoran	4,79
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	1,44
Ruang pribadi dan koridor	1,92
Atap yang digunakan untuk taman atap	4,79

Sumber : Standar perhitungan struktur beton bangunan gedung SNI-1727 : 2019

#### 2.4.3 Beban gempa

Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Energi tersebut terakumulasi dan terperangkap pada waktu yang lama kemudian terlepas dan merambat ke segala arah sampai ke permukaan tanah. Hal tersebut membuat permukaan tanah bergelombang yang mengakibatkan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan.

Menurut Muto ( 1963), selama gempa bumi bangunan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horisontal. Gaya gempa, baik dalam arah vertikal maupun

horisontal akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya ini, gaya dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi (gravity) yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horisontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan/ kegagalan (failure). Sistem struktur beton bertulang penahan gempa dihitung berdasarkan SNI 1726 : 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan nongedung dengan langkah perhitungan sebagai berikut. Menentukan Faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 2.5 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa  $I_e$  menurut Tabel 2.4

Tabel 2. 4 faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI-1726 : 2019

Tabel 2. 5 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI-1726 : 2019

- a. Menentukan Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik

Perambatan gelombang Percepatan Puncak Efektif Batuan Dasar (PPEBD) melalui lapisan tanah di bawah bangunan diketahui dapat memperbesar gempa rencana di muka tanah tergantung pada jenis lapisan tanah. Jika sifat tanah yang memadai tidak tersedia untuk penentuan kelas situs, maka kelas situs SE harus digunakan, kecuali otoritas yang berwenang atau data geoteknik menunjukkan situs termasuk dalam kelas situs lainnya. Penetapan kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2. 6 Klasifikasi situs

Kelas situs	$v_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$s_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 - 50	50 -100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI-1726 : 2019

Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/izin keahlian dengan menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya.

b. Menentukan Kategori desain seismik

Kategori Desain Seismik (KDS) dimaksudkan untuk memastikan pendetailan struktur yang memenuhi persyaratan sesuai dengan intensitas gempa yang diperkirakan. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $SDS$  dan  $SD1$ . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, terlepas dengan mengacu pada tabel 2.7 dan 2.8 dari nilai periode fundamental getaran struktur.

Tabel 2. 7 Kategori desain seismik pada periode pendek

Nilai $SDS$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI -726 : 2019

Dalam perencanaan struktur, beban-beban yang diterima struktur harus diperhitungkan agar bangunan kuat menerima kombinasi pembebanan yang ada. Dalam perencanaan dicari kombinasi pembebanan yang paling kritis untuk menentukan kuat perlu. Koefisien risiko terpetakan, masing-masing  $CRS$  dan  $CR1$ , dengan  $CRS$  adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respon periode pendek dan  $CR1$  adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respon periode 1 detik.

Tabel 2. 8 Kategori desain seismik pada periode 1 detik

Nilai $SD1$	Kategori risiko	
	I / II / III	IV
$SD1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SD1$	D	D

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI-1726 : 2019

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

c. Menentukan Syarat pemilihan prosedur analisis

Dalam perencanaan struktur, beban-beban yang diterima oleh struktur harus diperhitungkan agar bangunan kuat menerima kombinasi pembebanan yang ada. Dalam perencanaan dicari kombinasi pembebanan yang paling kritis untuk menentukan kuat perlu. Adapun Syarat pemilihan prosedur analisis harus sesuai berdasarkan pasal 7.6 SNI 1726 : 2019 yang telah dibuat dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 2. 9 Tabel Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekivalen	Analisis spektrum respons ragam	Prosedur respons waktu seismik
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak lebih 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan, I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI-1726 : 2019

d. Menentukan gaya lateral ekivalen

Geser dasar seismik

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

$$V = C_S W \dots\dots\dots(2.4.1)$$

Perhitungan koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik,  $C_S$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan :

$$c_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.4.2)$$

Nilai  $C_S$  yang dihitung sesuai dengan persamaan (1) tidak perlu melebihi berikut ini:

Untuk  $T \leq T_L$

$$c_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.4.3)$$

Untuk  $T > T_L$

$$c_s = \frac{S_{D1}}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.4.4)$$

$c_s$  harus tidak kurang dari

$$c_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \dots\dots\dots(2.4.5)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $c_s$  harus tidak kurang dari:

$$c_s = \frac{0.5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.4.6)$$

Penentuan Periode

Periode fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari Tabel dan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai 0. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur,  $T$ , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan,  $T_a$ . Besarnya periode struktur ( $T$ ) diketahui dengan menganggap bahwa momen inersia penampang ( $I$ ) mengalami keretakan (*crack*). Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan SDS; 26 Untuk perioda lebih besar dari  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ .

Tabel 2. 10 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI-1726 : 2019

#### Periode fundamental pendekatan

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots(2.4.7)$$

Tabel 2. 11 Nilai Parameter Periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

sumber : standar perencanaan ketahanan gempa SNI-1726 : 2019

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

$$T_a = 0,1 N \dots\dots\dots(2.4.8)$$

Keterangan:

$N$  = jumlah tingkat

### Distribusi vertikal gaya seismic

Gaya seismic lateral, di sebarang tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut :

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} V \dots\dots\dots(2.4.9)$$

Keterangan :

$W_i$  dan  $W_x$  = bagian berat seismic efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$  (m)

$K$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$

untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$

untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2

### Distribusi horizontal gaya seismic

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \dots\dots\dots(2.4.10)$$

Keterangan:

$F_i$  adalah bagian dari geser dasar seismic ( $V$ ) pada tingkat ke- $i$  (kN)

## **2.5 Perhitungan Penulangan**

Perhitungan penulangan ini diambil dari momen-momen yang menentukan dan dapat mewakili penulangan secara keseluruhan. Untuk melakukan

perhitungan penulangan plat terlebih dahulu ditentukan  $\rho$  dari  $M_u / b d^2$  dan  $\rho$  harus memenuhi syarat yaitu  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ . Jika ternyata  $\rho$  yang ada  $< \rho_{min}$  maka digunakan  $\rho_{min}$  dan bila  $\rho > \rho_{maks}$  maka harus redesain plat. Kemudian dicari luas tulangan dengan rumus  $A_s = \rho \cdot b \cdot d$  dan ditentukan berapa diameter dan jumlah tulangan.

Jarak bersih antar tulangan  $s$  ( SNI 2847-2019)

$$S \geq D \text{ dan } s \geq 25 \text{ mm}$$

Jarak maksimal antar tulangan (as ke as)

a. Tulangan Pokok :

$$\text{Plat 1 arah : } s \leq 3 \cdot h \text{ dan } s \leq 450 \text{ mm}$$

$$\text{Plat 2 arah : } s \leq 2 \cdot h \text{ dan } s \leq 450 \text{ mm}$$

b. Tulangan Bagi  $s \leq 5 \cdot h$  dan  $s \leq 450 \text{ mm}$

Luas Tulangan minimal Plat

$$\text{Untuk } f_y = 240 \text{ Mpa, Maka } A_s \geq 0,0025 \cdot b \cdot h$$

$$\text{Untuk } f_y = 320 \text{ Mpa, Maka } A_s \geq 0,0020 \cdot b \cdot h$$

$$\text{Untuk } f_y = 400 \text{ Mpa, Maka } A_s \geq 0,0018 \cdot b \cdot h$$

$$\text{Untuk } f_y \geq 400 \text{ Mpa, Maka } A_s \geq 0,0014 \cdot b \cdot h$$

Luas tulangan longitudinal

Sesuai pasal 9.6.1.2 SNI 2847 : 2019 Batasan tulangan lentur minimum pada balok nonprategang harus lebih besar dari :

$$A_{s \min 1} = \frac{0.25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2.5.1)$$

$$A_{s \min 2} = \frac{1.4}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2.5.2)$$

Luas tulangan transversal

Jika tulangan geser diperlukan dan pengaruh torsional dapat diabaikan  $A_{v,min}$  harus terbesar dari berikut ini.

$$A_{v \min 1} = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w}{f_{yt}} \dots\dots\dots(2.5.3)$$

$$A_{v \min 2} = 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \dots\dots\dots(2.5.4)$$

Plat lantai didesain dengan tulangan minimum lentur dan susut berdasarkan SNI 2846 : 2019 pasal.7.12., sebagai berikut :

$$A_{s \text{minimum}} = 0,0018.b.h \dots\dots\dots (2.5.5)$$

Jumlah tulangan aktual :

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times (d)^2} \dots\dots\dots(2.5.6)$$

Sehingga jarak tulangan :

$$S = \frac{1000 \text{ mm}}{n} \dots\dots\dots(2.5.7)$$