

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 BIM**

*Building Information Modeling* (BIM) mencakup sistem atau teknologi komprehensif yang menggabungkan detail-detail dalam merencanakan, merancang, mengelola, serta mengoordinasikan semua proses konstruksi selama siklus hidup sebuah proyek ke dalam model digital 3D. Tidak hanya 3D, BIM juga menyajikan informasi dan data-data yang akan digunakan selama siklus hidup proyek, mulai dari proses konstruksi, desain dan pengembangan, kuantitas dan penjadwalan, proses fabrikasi, dan manajemen konstruksi sehingga peningkatan efisiensi dalam pengembangan perakitan struktur dapat dicapai melalui peningkatan produktivitas dalam proses desain dan konstruksi. Selain itu, teknologi BIM juga menawarkan keuntungan tambahan yakni mampu meminimalisir kesalahan dan kelengahan, mencegah proses pengerjaan yang sama secara berkali-kali, mengefisienkan waktu pengerjaan proyek, serta membantu manajemen dan pemeliharaan gedung sehingga memaksimalkan manfaat bagi semua pihak yang terlibat di dunia konstruksi (Kementerian PUPR, 2018).

Teknologi BIM melakukan inovasi secara terus menerus mulai dari pemodelan secara 2D sampai dengan 7D. Pemodelan 2D merupakan desain atau gambar yang menyertakan keterangan panjang dan lebar pada lembar gambar kerja. Desain 3D berbasis obyek pemodelan parametrik yang dapat menunjukkan keadaan saat ini dan mengilustrasikan hasil yang didapat proyek konstruksi. 4D adalah desain 3D yang dihubungkan dengan penjadwalan pengagendaaan bahan material, pekerja, dimensi area, waktu, dan aspek lainnya yang dapat digunakan untuk *timeline* kegiatan proyek yang lebih detail lagi. 5D adalah pengolahan dari desain 4D dengan memasukkan pengeluaran yang berkaitan dengan proyek ke dalam kerangka kerja yang ada sehingga dapat memperoleh kuantitas, biaya, dan lokasi. 6D (*Sustainability*, termasuk *Collision Detection* dan *Energy Analysis*) mampu menganalisis energi dan menguji model guna mengetahui konflik tata ruang yang

memberitahukan data rinci permodelan energi yang akurat kepada pengguna secara otomatis. 7D (*Facility Management Application*) adalah sistem untuk membantu *user* dalam proses ekstraksi dan verifikasi data termasuk status komponen, informasi garansi, spesifikasi dan pemeliharaan/manual operasi dengan lebih efisien dan dipercepat selama penggantian. Ada juga proses untuk pemeliharaan fasilitas dan mengelola data pemasok subkontraktor di seluruh siklus hidup fasilitas (Kementerian PUPR, 2018).

Secara umum BIM memiliki tiga tingkatan (*maturity level*) dalam penerapannya, yaitu (Barrung, J. D., & Napitupulu, K. J. H., 2022):

1. Level 0 BIM

Level 0 merupakan level terendah dalam tingkatan BIM dengan menggunakan *software* CAD untuk *drafting* dan tidak ada kolaborasi.

2. Level 1 BIM

Perpaduan dari desain 3D sebagai konseptual bentuk dengan gambar 2D CAD untuk penyusunan dokumentasi berdasarkan standar disiplin/perilaku masing-masing.

3. Level 2 BIM

Kolaborasi antar model atau objek yang memerlukan koordinasi antara berbagai sistem dan proses pertukaran informasi dengan prosedur dan struktur yang disepakati seperti IFC (*Industry Foundation Class*) atau COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*). Level 2 ini yang digunakan dalam perencanaan ini karena mengintegrasikan atau mengkolaborasikan antara model 3D, penjadwalan, dan biaya dalam satu *software Autodesk Naviswork*.

4. Level 3 BIM

Penerapan BIM level 3 meliputi beberapa karakteristik seperti Open BIM yang dapat diakses secara *online* dalam mendesain *project* menggunakan konstruksi *squencing* serta manajemen informasi untuk biaya dan pemeliharaannya.

BIM memiliki banyak keuntungan di bidang konstruksi, diantaranya adalah

(Kementerian PUPR, 2018):

1. Dapat mendeteksi risiko selama proses pekerjaan dan menganalisis dampak potensial sehingga meningkatkan keselamatan dan mengurangi ketidakpastian.
2. Dengan adanya koordinasi dan kolaborasi informasi yang sudah terintegrasi akan meningkatkan produktivitas kerja.
3. Meminimalisir terjadinya *variation order* (VO) dan memproduksi gambar teknis secara akurat dan cepat.
4. Mengoptimalkan biaya, waktu, sumber daya manusia dan aset material.

### **2.1.1 Autodesk Revit**

*Autodesk Revit* adalah *software* berbasis *Building Information Modeling* (BIM) yang dapat memodelkan/mendesain struktur, arsitektur, serta *Mechanical, Electrical, dan Plumbing* (MEP) dalam perencanaan proyek konstruksi (Saputra et al, 2022). Autodesk Revit dipilih dalam penelitian ini karena memiliki keunggulan dibandingkan perangkat lunak CAD konvensional maupun BIM lainnya. Revit dapat menggabungkan pemodelan 3D, estimasi kuantitas, dan perhitungan biaya (BIM 5D) dalam satu file proyek. Hal ini membuat proses desain lebih cepat, meminimalkan revisi, serta mengurangi kebutuhan tenaga kerja (Marizan, Purwanto, & Yunanda, 2019). Selain itu, penelitian di BSI Tower Jakarta juga menunjukkan bahwa metode BIM 5D dengan Revit mampu menghasilkan estimasi volume struktur bawah dengan selisih rata-rata total sekitar 10,69 % lebih kecil dibanding perhitungan manual, terutama karena pemodelan 3D menangkap detail geometri lebih akurat (Elvina, Arief, & Selvia, 2024).

Beberapa perangkat lunak lain memiliki keterbatasan yang menjadi alasan pemilihan Revit. Tekla Structures unggul dalam detail fabrikasi struktur baja atau beton, tetapi membutuhkan waktu belajar lebih lama dan kurang fleksibel untuk mengintegrasikan arsitektur, struktur, dan MEP dalam satu model (Al Farizi & Sutantiningrum, 2025). Sementara itu, AutoCAD yang berbasis 2D memerlukan waktu lebih banyak karena setiap disiplin dikerjakan terpisah tanpa pembaruan otomatis antar dokumen. Revit mengatasi kekurangan tersebut dengan sistem pemodelan parametrik, integrasi data secara real-time, serta kemampuan menghasilkan laporan kuantitas dan biaya langsung dari model. Dengan

keunggulan tersebut, Revit dinilai tepat digunakan untuk perencanaan ulang struktur Gedung RSKI Surakarta berbasis BIM 5D.

### **2.1.2 Naviswork**

Autodesk Navisworks dipilih karena kemampuannya yang unggul dalam integrasi model 3D, penjadwalan (4D), serta analisis tabrakan (clash detection) dalam satu platform visual yang mudah digunakan. Dalam studi pada proyek pembangunan Unit Sekolah Baru SMKN di Tangerang, penggunaan Navisworks Manage untuk simulasi penjadwalan menghasilkan koordinasi visual yang lebih baik dibanding metode konvensional menggunakan Ms. Project saja, meski durasi total proyek sama—Navisworks membantu tim mengenali perbedaan tanggal mulai tiap pekerjaan saat konfigurasi tipe predecessors berbeda (Prabowo & Hofifah, 2025). Di sisi lain, penelitian lain menunjukkan bahwa integrasi Revit dengan Navisworks Manage memungkinkan simulasi progres konstruksi (pemodelan 4D) tanpa perlu memodel ulang data struktur, sehingga efisien dan akurat (Pradiptha & Pangestuti, 2021).

Perangkat lunak lain seperti Microsoft Project memang handal untuk kontrol berbasis sumber daya dan durasi, tetapi tidak memiliki visualisasi model 3D atau deteksi konflik desain secara otomatis. Sedangkan menggunakan Revit saja hanya terbatas pada pemodelan dan desain, tidak mendukung simulasi waktu secara visual. Navisworks menjembatani kedua kebutuhan ini: memadukan model 3D dengan data waktu sehingga memudahkan identifikasi risiko penjadwalan dan konflik desain. Oleh karena itu, Navisworks sangat cocok digunakan dalam perencanaan ulang struktur Gedung RSKI Surakarta berbasis BIM 5D—karena meningkatkan visualisasi, minim kesalahan, dan memperlancar koordinasi antar-tim.

### **2.1.3 ETABS**

ETABS (*Extended Three-dimensional Analysis of Building System*) merupakan

*software* pemodelan struktur tiga dimensi, meliputi elemen pelat, balok, kolom, dinding geser, serta sistem beban lateral seperti angin dan gempa, sesuai dengan standar perencanaan internasional maupun nasional seperti SNI 1726 – 2019 dan SNI 2847 – 2019. Dalam *landscape software* analisis struktur, terdapat beberapa alternatif yang setara dengan ETABS, antara lain SAP2000 (*Computer and Structures Inc.*), STAAD.Pro (*Bentley Systems*), *Robot Structural Analysis* (Autodesk), RISA-3D (*RISA Technologies*), *Tekla Structural Designer* (*Trimble*), dan *SCIA Engineer* (*Nemetschek Group*) (Bhatt & Bhensdadia, 2017; Patil & Kumbhar, 2019). Masing-masing *software* memiliki keunggulan spesifik: SAP2000 unggul dalam *general-purpose finite element analysis*, STAAD.Pro memiliki kekuatan dalam *steel design* dan *International codes*, *Robot Structural Analysis* terintegrasi baik dengan ekosistem Autodesk, sedangkan RISA-3D fokus pada *user-friendly interface* untuk *building analysis* (Anwar et al., 2018; Kumar & Singh, 2020). Namun, pemilihan ETABS sebagai *software* utama dalam *redesign* Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta didasarkan pada keunggulan dalam hal *core wall modelling*, dimana ETABS memiliki teknologi yang lebih canggih dibanding *software* lainnya, sehingga bisa menghitung dengan lebih tepat bagaimana *core wall* berperilaku saat terjadi beban besar, termasuk bagaimana dinding tersebut berinteraksi dengan balok penghubung dan rangka bangunan (Wallace & Moehle, 2018; Lu et al., 2021).

Pada perencanaan struktur tahan gempa, ETABS sangat membantu dalam menganalisis respons dinamis struktur melalui analisis statik ekuivalen maupun respons spektrum, serta mengevaluasi gaya dalam, simpangan antar lantai dan performa elemen struktur. Dengan fitur visualisasi yang jelas dan *output* laporan teknis yang terperinci menjadikan ETABS sebagai *software* inti yang tepat guna dalam proses pemodelan dan verifikasi struktur berbagai jenis gedung (Vinoth et al., 2022).

#### **2.1.4 SP Column**

*SP Column* merupakan *software* yang dibuat khusus untuk menganalisis dan merancang elemen struktur beton bertulang yang menerima momen lentur dan beban aksial, baik dalam satu maupun dua arah (Khodadadi Koodiani et al., 2023). *SP Column* dipilih sebagai *software* utama untuk analisis dan desain elemen struktur beton bertulang karena memiliki keunggulan signifikan dibandingkan *software* sejenis seperti PCACOL, BIAX, atau modul kolom dalam SAP2000 dan ETABS (Mahmoud & El-Shafiey, 2017; Singh & Kumar, 2019). Berbeda dengan *software*

lain yang terbatas pada bentuk penampang standar, SP *Column* mendukung berbagai macam bentuk penampang, mulai dari yang sederhana seperti persegi dan lingkaran, hingga bentuk tak beraturan serta pola tulangan kompleks, termasuk dinding geser, poros elevator, dan elemen tekan lainnya yang sulit dianalisis manual. Keunggulan SP *Column* terletak pada kemampuan menghasilkan diagram interaksi P-M-M dan mempertimbangkan efek kelangsingan (P-Delta) sesuai dengan standar. Kelebihan utamanya terletak pada analisis onlinier interaktif, antarmuka yang ramah (termasuk integrasi AutoCAD/ETABS), serta kemampuan ekspor hasil perhitungan dalam bentuk grafik dan numerik sehingga mempermudah verifikasi manual dokumentasi teknis (Tjahjono et al., 2023).

## 2.2 Perencanaan Gedung Bertingkat

Ketentuan mengenai struktur bangunan bertingkat di Indonesia sesuai SNI 03 - 1727 – 2020 yang menetapkan beban desain minimum dan kriteria yang ditetapkan untuk konstruksi bangunan dan struktur terkait, yang mencakup kerangka bertingkat yang terdiri dari beton atau baja. Selain itu, standar ini juga mencakup karakteristik bangunan dan struktur berdasarkan jenis risikonya serta persyaratan beban angin dan beban gempa. Sehingga menjamin bahwa struktur bangunan dapat menahan beban sesuai fungsi bangunan yang direncanakan dan memiliki kapasitas untuk menahan beban sejalan dengan penggunaan fungsional bangunan yang dimaksudkan, sehingga memastikan keselamatan penghuni dan masyarakat yang lebih luas.

Di daerah rawan gempa seperti Indonesia, perencanaan bangunan bertingkat harus mempertimbangkan beban gempa dan *periode* getar (*fundamental period*) yang ditentukan oleh kekakuan lateralnya. Standar Nasional Indonesia terus diperbarui untuk menyesuaikan dengan kondisi lokal dan transformasi teknologi di industri konstruksi. Perubahan ini didasarkan pada dimensi penampang, *periode* getar (*fundamental period*), dan deformasi bangunan.

Berdasarkan (SNI 27-2020), persyaratan dasar tentang kekakuan dan kekuatan pada struktur bangunan memerlukan desain yang memadai untuk memastikan stabilitas struktural sambil secara bersamaan menjaga elemen dan sistem non-struktural.

Prosedur kekuatan dan kekakuan yang harus diterima oleh bangunan adalah sebagai berikut :

1. Prosedur kekuatan

Untuk menahan kombinasi beban sesuai standar ini pada Pasal 2.3, komponen struktural, non struktural, serta sambungannya harus mempunyai kekuatan yang cukup dan tidak lebih dari batas kekuatan untuk material konstruksi.

2. Prosedur tegangan izin

Untuk menahan kombinasi beban sesuai standar ini pada pasal 2.4, komponen struktural, non struktural, serta sambungannya harus mempunyai kekuatan yang cukup tanpa melewati batas tegangan yang diperbolehkan untuk material konstruksi.

3. Prosedur berbasis kinerja

Metodologi berbasis kinerja harus menjadi sasaran analisis yang ketat sesuai dengan pasal 2.3.6 serta dilengkapi dengan pengujian komponen s truktural, non struktural serta sambungannya selaras dengan target keandalan yang gambarkan dalam asal ini. Baik elemen struktural dan non struktural bertanggung jawab untuk mendukung berbagai beban, yang mencakup beban mati, beban hidup, beban lingkungan, dan beban lainnya, dengan pengecualian beban gempa bumi, beban tsunami, beban banjir, dan beban peristiwa luar biasa, sesuai dengan parameter keandalan target yang ditentukan dalam tabel 2.1. Sistem struktural yang ditunjuk untuk mendukung beban gempa harus direkayasa sesuai dengan target keandalan sebagaimana dijelaskan dalam tabel 2.2 dan 2.3. Metodologi analitis yang digunakan untuk tujuan ini harus mempertimbangkan ketidakpastian yang melekat pada variabel pemuatan dan resistansi.

**Tabel 2. 1** Keandalan Target (Probabilitas Kegagalan Tahunan, PF) Dan Indeks Keandalan Terkait (B)<sup>1</sup> Untuk Kondisi Beban Yang Tidak Termasuk Gempa, Tsunami, Atau Kejadian Luar Biasa

| Basis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Kategori Risiko                                       |                                                      |                                                        |                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | I                                                     | II                                                   | III                                                    | IV                                                   |
| Kegagalan yang tidak mendadak dan tidak mengarah pada kerusakan progresif yang menyebar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $P_F=1,25 \times 10^{-4}/\text{thn}$<br>$\beta = 2,5$ | $P_F=3,0 \times 10^{-5}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,0$ | $P_F=1,25 \times 10^{-5}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,25$ | $P_F=5,0 \times 10^{-6}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,5$ |
| Kegagalan yang mendadak atau mengarah pada kerusakan progresif yang menyebar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $P_F=3,0 \times 10^{-5}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,0$  | $P_F=5,0 \times 10^{-6}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,5$ | $P_F=2,0 \times 10^{-6}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,75$  | $P_F=5,0 \times 10^{-6}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,5$ |
| Kegagalan yang mendadak dan mengakibatkan kerusakan progresif yang menyebar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $P_F=5,0 \times 10^{-6}/\text{thn}$<br>$\beta = 3,5$  | $P_F=7,0 \times 10^{-7}/\text{thn}$<br>$\beta = 4,0$ | $P_F=2,5 \times 10^{-7}/\text{thn}$<br>$\beta = 4,25$  | $P_F=1,0 \times 10^{-7}/\text{thn}$<br>$\beta = 4,5$ |
| <sup>1</sup> Indeks keandalan target diberikan untuk periode Referensi 50 tahun, dan probabilitas kegagalan tahunan. Persamaan yang disajikan pada Pasal 2.3.6 didasarkan pada indeks keandalan selama 50 tahun karena persyaratan kombinasi beban pada Pasal 2.3.2 didasarkan pada beban maksimum untuk periode Referensi 50 tahun.<br><sup>2</sup> Penjelasan untuk Pasal 2.5 mencakup Referensi untuk publikasi yang menggambarkan riwayat perkembangan keandalan target ini. |                                                       |                                                      |                                                        |                                                      |

(Sumber : SNI 1727-2020, Tabel 1.3-1)

**Tabel 2. 2** Keandalan Target (Probabilitas Kegagalan Bersyarat) Untuk Stabilitas Struktural Akibat Gempa

| Kategori Risiko | Probabilitas Kegagalan Bersyarat akibat Bahaya Guncangan MCE <sub>R</sub> (%) |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| I & II          | 10                                                                            |
| III             | 5                                                                             |
| IV              | 2,5                                                                           |

(Sumber : SNI 1727 - 2020, Tabel 1.3-2)



**Tabel 2. 3** Keandalan Target (Probabilitas Kegagalan Bersyarat) Untuk Komponen Struktural Nonkritis Biasa Akibat Gempa

| Kategori Risiko | Probabilitas Kegagalan Bersyarat Komponen atau Angkur akibat Bahaya Guncangan MCE <sub>R</sub> (%) |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I & II          | 25                                                                                                 |
| III             | 15                                                                                                 |
| IV              | 9                                                                                                  |

(Sumber : SNI 1727 - 2020, Tabel 1.3.3)

## 2.3 Analisa Struktur

Analisa struktur pada perencanaan gedung bertingkat meliputi beberapa tahapan, antara lain :

### 2.3.1 Struktur Beton Bertulang

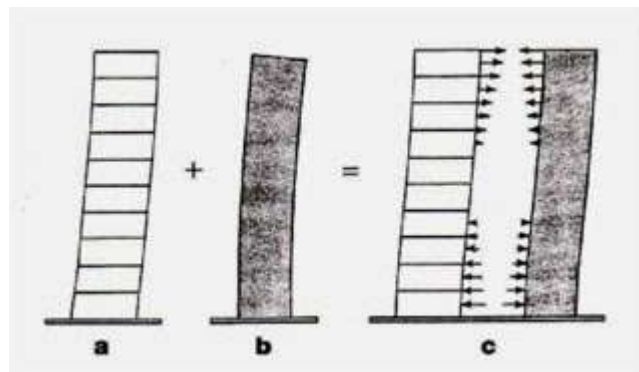
Beton bertulang yaitu sebuah material komposit kombinasi antara beton dan tulangan baja (Nurhasanah, R., & Rijaluddin, A., 2023). Beton bertulang memiliki struktur yang kuat, dikarenakan beton memiliki nilai kuat tekan tinggi dan kuat tarik yang lemah, sedangkan baja memiliki nilai kuat tarik yang tinggi sehingga saling melengkapi. Oleh sebab itu, beton bertulang sering digunakan untuk struktur balok, pelat lantai, kolom, dinding, dan fondasi. Selain itu, beton bertulang juga tahan api, tahan air, serta biaya pemeliharaannya rendah.

### 2.3.2 Struktur Sistem Ganda (Dual System)

Struktur sistem ganda terdiri dari integrasi sistem rangka tahan momen khusus (SRPMK) dan dinding geser (*shear wall*). Sistem struktural ini memiliki kerangka spasial komprehensif yang dirancang untuk mendukung gaya gravitasi sekaligus memberikan ketahanan terhadap beban seismik (Pasal 3.51.3, SNI 1726-2019). Sistem ganda sangat cocok untuk bangunan struktur bertingkat tinggi di daerah yang rawan gempa, karena dapat menangani tegangan geser dengan sangat baik. Sistem ganda berdasarkan (SNI 1726-2019) terdiri dari:

1. Kerangka ruang mampu menahan seluruh beban gravitasi.

2. Mampu memikul beban lateral berupa dinding geser dengan rangka pemikul momen khusus. Diperlukan merancang secara terpisah untuk rangka pemikul momen dikarenakan rangka tersebut harus memikul minimal 25% dari total beban lateral.
3. Menurut beberapa sistem, kedua sistem harus dirancang untuk memikul beban lateral secara bersamaan dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda.



**Gambar 2. 1** Interaksi SRPMK dan Dinding Geser

Pada sistem ganda, dinding geser berperan memberikan kekakuan dan kekuatan tinggi, sedangkan SRPMK menyediakan daktilitas dan kemampuan deformasi plastis untuk menyerap energi gempa. Kombinasi ini bertujuan meningkatkan kinerja struktur dengan memastikan kedua elemen bekerja sinergis. Dengan menggabungkan keunggulan masing-masing sistem, sistem ganda mampu mengurangi deformasi lateral dan memberikan redundansi struktural. Jika salah satu sistem mengalami kerusakan, sistem lainnya tetap dapat menopang struktur, mencegah keruntuhan total. Untuk memastikan efektivitasnya, sistem ini harus dirancang dengan memperhatikan kompatibilitas deformasi dan ketentuan detailing sesuai SNI 2847-2019, terutama pada struktur dengan risiko gempa tinggi seperti bangunan bertingkat.

### 2.3.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) atau *special frames* merupakan kerangka struktural yang dapat menahan beban lateral serta gaya momen. Prinsip dasar dari sistem SRPMK yaitu menggunakan komponen struktur yang kokoh, *joint* yang terkendali antara sendi dan tumpuan serta mekanisme ketahanan geser yang efisien untuk mengurangi deformasi struktural sambil menahan gaya lateral yang cukup besar. Kategori desain seismik D, E, serta F umumnya menggabungkan sistem rangka pemikul momen khusus (Budiarty et al, 2022).

Konsep penting yang melekat pada sistem SRPMK adalah prinsip “kolom kuat balok lemah” (*strong column weak beam*), yang mengharuskan kekuatan kolom melebihi kekuatan balok. Prinsip ini dirancang untuk memfasilitasi transfer gaya lateral yang diinduksi oleh aktivitas seismik melalui mekanisme lentur yang melekat pada elemen balok dan kolom. Sambungan antara kolom dan balok memiliki peran krusial, karena menjadi daerah terbentuknya sendi plastis saat struktur mengalami deformasi akibat beban lateral. (Ayuddin A., 2020).

### 2.3.4 Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser adalah suatu dinding struktural vertikal untuk menahan gaya lateral (beban gempa, angin dan sebagian beban gravitasi) yang bekerja sejajar dengan bidang dinding tersebut (Pasal 3.13.6 SNI 1726, 2019). Dinding geser harus dirancang dengan ketentuan detailing khusus untuk mencapai daktilitas tinggi, terutama jika digunakan dalam wilayah dengan tingkat risiko seismik sedang hingga tinggi. Dinding geser harus memenuhi persyaratan minimum tebal, penulangan horizontal dan vertikal, serta kapasitas tahan geser dan lentur, agar mampu menahan deformasi inelastik secara aman tanpa mengalami keruntuhan (Pasal 18 SNI 2847, 2019). Penerapan dinding geser secara strategis (misalnya di sekitar inti lift atau tangga) juga membantu distribusi gaya lateral yang lebih merata pada seluruh struktur. Dinding geser yang dipakai pada perencanaan ini menggunakan bentuk dinding tunggal untuk di area tangga dan bentuk core wall

untuk diarea lift.

### 2.3.5 Data Perencanaan Gedung

Data yang berkaitan dengan perencanaan gedung untuk analisis struktur merupakan informasi teknis penting yang berkaitan dengan evaluasi dan perhitungan struktur gedung. Data perencanaan bangunan tersebut dapat bersumber dari beragam asal primer dan sekunder. Kategori yang diperlukan dari data perencanaan bangunan untuk analisis struktural meliputi:

1. *Detail Engineering Desain* (DED) perencanaan gedung yang selanjutnya dimodelkan secara 3D dengan bantuan *software REVIT* dan *ETABS*.
2. Data uji tanah, untuk mengetahui kondisi tanah sehingga mampu menahan beban yang direncanakan. Data yang kami dapatkan data *Bor Log*.

### 2.3.6 Pembebanan Pada Gedung

Komponen bangunan baik struktural maupun non struktural harus didesain memenuhi standar beban rencana minimum atau melebihi kombinasi beban terfaktor. Semua komponen bangunan harus sesuai standar yang ditentukan (SNI 1727-2020) sesuai gaya – gaya yang diakibatkan dari bermacam beban seperti getaran, guncangan, penyusutan, variasi termal, benturan, pembengkakan, gaya prategang, penurunan fondasi diferensial dan beban khusus lainnya. Bangunan yang sehat secara struktural adalah bangunan yang memiliki kemampuan untuk menahan gaya gravitasi dan seismik dikenakan padanya. Berikut ini penggabungan dasar beban yang berkaitan dengan desain kekakuan berdasarkan SNI 1727-2020 :

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4.  $1,2D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5.  $0,9D + 1,0W$

Berikut ini kombinasi dasar pembebanan untuk desain tegangan izin berdasarkan SNI 1727- 2020 :

1.  $D$
2.  $D + L$
3.  $D + (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
4.  $D + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5.  $D + (0,6W)$
6.  $D + 0,75 L_o + 0,75 (0,6 W) + 0,75 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
7.  $0,6D + 0,6W$

#### **2.3.6.1 Beban Mati**

Beban mati mewakili gaya gravitasi yang diberikan pada struktur itu sendiri, mencakup beban semua bahan konstruksi yang digunakan, yang meliputi komponen arsitektur seperti lantai, dinding, atap, langit-langit, plafon, finishing, penutup eksterior gedung, dinding partisi, serta peralatan batu yang dipasang seperti pemberat derek dan sistem penanganan material (Pasal 3.1.1 SNI 1727-2020).

#### **2.3.6.2 Beban Hidup**

Sebagaimana digambarkan dalam Pasal 4.1 SNI 1727-2020 mengacu pada beban akibat dari pemanfaatan fungsional bangunan atau kegiatan pengguna atau penghuninya. Namun, tidak memperhitungkan beban akibat berat bangunan serta beban lingkungan (beban hujan, angin, gempa bumi, banjir, dan beban mati).

Menurut PPIUG 1983, beban hidup tidak dianggap sepenuhnya efektif karena peluang beban hidup yang memaksakan gaya yang signifikan pada integritas Struktural sangat rendah dan memerlukan perhitungan menggunakan koefisien reduksi yang sesuai, seperti yang ditunjukkan dalam tabel dibawah ini.

**Tabel 2. 4 Koefisien Reduksi Beban Hidup**

| Penggunaan Gedung                                          | Koefisien Reduksi Beban Hidup |                        |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
|                                                            | Perencanaan Balok             | Untuk Peninjauan Gempa |
| Perumahan / Penghunian                                     | 0.75                          | 0.30                   |
| Pendidikan                                                 | 0.90                          | 0.50                   |
| Pertemuan Umum                                             | 0.90                          | 0.50                   |
| Kantor                                                     | 0.60                          | 0.30                   |
| Perdagangan                                                | 0.80                          | 0.80                   |
| Penyimpanan                                                | 0.80                          | 0.80                   |
| Industry                                                   | 1.00                          | 0.90                   |
| Tempat Kendaraan                                           | 0.90                          | 0.50                   |
| Tangga Perumahan / Penghunian                              | 0.75                          | 0.30                   |
| Pendidikan                                                 |                               |                        |
| Tangga Kantor Pertemuan Umum                               | 0.75                          | 0.50                   |
| Tangga Perdagangan, Penyimpanan, Industri Tempat Kendaraan | 0.90                          | 0.50                   |

(Sumber : PPIUG, 1983)

Beban hidup yang dimaksudkan pada perencanaan gedung dan struktur lain wajib sesuai dengan kapasitas pembebanan maksimum yang diinginkan, namun sangat penting untuk memastikan nilai yang didapatkan lebih besar dari beban merata minimum (Tabel 4.3.1 SNI 1727-2020)

**Tabel 2. 5 Beban Hidup Minimum Bangunan Gedung**

| Hunian atau penggunaan                                                                                           | Merata, $L_2$<br>psf (kN/m <sup>2</sup> ) | Reduksi<br>beban hidup<br>diizinkan?<br>(No. Pasal) | Reduksi<br>beban<br>hidup<br>berlantai<br>banyak<br>diizinkan?<br>(No. Pasal) | Terpusat<br>lb (kN)        | Juga Lihat<br>Pasal |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| <b>Jalur penyelamatan saat kebakaran</b>                                                                         | 100 (4,79)                                | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                            |                     |
| Hunian satu keluarga saja                                                                                        | 40 (1,92)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                            |                     |
| <b>Tangga permanen</b>                                                                                           |                                           | -                                                   | -                                                                             | Lihat Pasal<br>4.5.4       |                     |
| <b>Garasi/Parkir</b> (Lihat Pasal 4.10)                                                                          |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Mobil penumpang saja                                                                                             | 40 (1,92)                                 | Tidak (4.7.4)                                       | Ya (4.7.4)                                                                    | Lihat Pasal<br>4.10.1      |                     |
| Truk dan bus                                                                                                     | Lihat Pasal<br>4.10.2                     | -                                                   | -                                                                             | Lihat Pasal<br>4.10.2      |                     |
| <b>Pegangan tangga dan pagar pengaman</b>                                                                        | Lihat 4.5.1                               | -                                                   | -                                                                             | Lihat 4.5.1<br>Lihat 4.5.2 |                     |
| Batang pegangan                                                                                                  |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| <b>Helipad</b> (Lihat Pasal 4.11)                                                                                |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Helikopter dengan berat lepas landas<br>sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau<br>kurang                               | 40 (1,92)                                 | Tidak (4.11.1)                                      | -                                                                             | Lihat Pasal<br>4.11.2      |                     |
| Helikopter dengan berat lepas landas<br>Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)                                           | 60 (2,87)                                 | Tidak (4.11.1)                                      | -                                                                             | Lihat Pasal<br>4.11.2      |                     |
| <b>Rumah sakit</b>                                                                                               |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Ruang operasi, laboratorium                                                                                      | 60 (2,87)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 1.000 (4,45)               |                     |
| Ruang pasien                                                                                                     | 40 (1,92)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 1.000 (4,45)               |                     |
| Koridor diatas lantai pertama                                                                                    | 80 (3,83)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 1.000 (4,45)               |                     |
| <b>Hotel</b> (lihat rumah tinggal)                                                                               |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| <b>Perpustakaan</b>                                                                                              |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Ruang baca                                                                                                       | 60 (2,87)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 1.000 (4,45)               |                     |
| Ruang penyimpanan                                                                                                | 150 (7,18)                                | Tidak (4.7.3)                                       | Ya (4.7.3)                                                                    | 1.000 (4,45)               | 4.13                |
| Koridor di atas lantai pertama                                                                                   | 80 (3,83)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 1.000 (4,45)               |                     |
| <b>Pabrik</b>                                                                                                    |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Ringan                                                                                                           | 125 (6,00)                                | Tidak (4.7.3)                                       | Ya (4.7.3)                                                                    | 2.000 (8,90)               |                     |
| Berat                                                                                                            | 250 (11,97)                               | Tidak (4.7.3)                                       | Ya (4.7.3)                                                                    | 3.000 (13,35)              |                     |
| <b>Gedung perkantoran</b>                                                                                        |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Ruang ansip dan komputer harus<br>dirancang untuk beban yang<br>lebih berat berdasarkan pada<br>perkiraan hunian |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Lobi dan koridor lantai pertama                                                                                  | 100 (4,79)                                | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 2.000 (8,90)               |                     |
| Kantor                                                                                                           | 50 (2,40)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 2.000 (8,90)               |                     |
| Koridor di atas lantai pertama                                                                                   | 80 (3,83)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 2.000 (8,90)               |                     |
| <b>Lembaga hukum</b>                                                                                             |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Blok sel                                                                                                         | 40 (1,92)                                 | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                            |                     |
| Koridor                                                                                                          | 100 (4,79)                                | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                            |                     |
| <b>Tempat rekreasi</b>                                                                                           |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Tempat bowling, billiard, dan<br>penggunaan sejenis                                                              | 75 (3,59)                                 | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| Ruang dansa dan ballroom                                                                                         | 100 (4,79)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| Gimnasium                                                                                                        | 100 (4,79)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| <b>Apartemen</b> (lihat rumah tinggal)                                                                           |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| <b>Sistem lantai akses</b>                                                                                       |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Ruang kantor                                                                                                     | 50 (2,4)                                  | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 2.000 (8,9)                |                     |
| Ruang komputer                                                                                                   | 100 (4,79)                                | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 2.000 (8,9)                |                     |
| <b>Gudang persenjataan dan ruang latihan</b>                                                                     | 150 (7,18)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| <b>Ruang pertemuan</b>                                                                                           |                                           |                                                     |                                                                               |                            |                     |
| Kursi tetap (terikat di lantai)                                                                                  | 60 (2,87)                                 | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| Lobi                                                                                                             | 100 (4,79)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| Kursi dapat dipindahkan                                                                                          | 100 (4,79)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| Panggung pertemuan                                                                                               | 100 (4,79)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| Lantai podium                                                                                                    | 150 (7,18)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
|                                                                                                                  | 100 (4,79)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            | 4.14                |
| Tribun penonton Stadion dan arena<br>dengan kursi tetap (terikat di lantai)                                      | 60 (2,87)                                 | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            |                     |
| Ruang pertemuan lainnya                                                                                          | 100 (4,79)                                | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                            | 4.14                |

| Hunian atau penggunaan                                                                       | Merata, $L_s$<br>psf (kN/m <sup>2</sup> )                                                                               | Reduksi<br>beban hidup<br>diizinkan?<br>(No. Pasal) | Reduksi<br>beban<br>hidup<br>berlantai<br>banyak<br>diizinkan?<br>(No. Pasal) | Terpusat<br>lb (kN) | Juga Lihat<br>Pasal |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Balkon dan dek</b>                                                                        | 1,5 kali beban<br>hidup untuk<br>daerah yang<br>dayani. Tidak<br>perlu melebihi<br>100 psf<br>(4,79 kN/m <sup>2</sup> ) | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     |                     |
| <b>Jalur untuk akses pemeliharaan</b>                                                        | 40 (1,92)                                                                                                               | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    | 300 (1,33)          |                     |
| <b>Koridor</b>                                                                               |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| Lantai pertama                                                                               | 100 (4,79)                                                                                                              | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     |                     |
| Lantai lain                                                                                  | Sama seperti<br>pelayanan<br>hunian kecuali<br>disebutkan lain                                                          |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| <b>Ruang makan dan restoran</b>                                                              | 100 (4,79)                                                                                                              | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                     |                     |
| <b>Hunian (lihat rumah tinggal)</b>                                                          |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| <b>Dudukan mesin elevator</b><br>(pada area 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])                   |                                                                                                                         | -                                                   | -                                                                             | 300 (1,33)          |                     |
| <b>Konstruksi pelat lantai finishing ringan</b><br>(pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm]) |                                                                                                                         | -                                                   | -                                                                             | 200 (0,89)          |                     |
| <b>Rumah tinggal</b>                                                                         |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| Hunian satu dan dua keluarga                                                                 |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| Loteng yang tidak dapat dihuni<br>tanpa gudang                                               | 10 (0,48)                                                                                                               | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     | 4.12.1              |
| Loteng yang tidak dapat dihuni<br>dengan gudang                                              | 20 (0,96)                                                                                                               | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     | 4.12.2              |
| Loteng yang dapat dihuni dan<br>ruang tidur                                                  | 30 (1,44)                                                                                                               | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     |                     |
| Semua ruang kecuali tangga                                                                   | 40 (1,92)                                                                                                               | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     |                     |
| Semua hunian rumah tinggal lainnya                                                           |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| Ruang pribadi dan koridornya                                                                 | 40 (1,92)                                                                                                               | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     |                     |
| Ruang publik                                                                                 | 100 (4,79)                                                                                                              | Tidak (4.7.5)                                       | Tidak (4.7.5)                                                                 |                     |                     |
| Koridor ruang publik                                                                         | 100 (4,79)                                                                                                              | Ya (4.7.2)                                          | Ya (4.7.2)                                                                    |                     |                     |
| <b>Atap</b>                                                                                  |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| Atap datar, berbubung, dan lengkung                                                          | 20 (0,96)                                                                                                               | Ya (4.8.2)                                          | -                                                                             |                     | 4.8.1               |
| Atap yang digunakan penghuni                                                                 | Sama dengan<br>penggunaan<br>yang dilayani                                                                              | Ya (4.8.3)                                          | -                                                                             |                     |                     |
| Atap untuk tempat berkumpul                                                                  | 100 (4,70)                                                                                                              | Ya (4.8.3)                                          | -                                                                             |                     |                     |
| Atap vegetatif dan atap lansekap                                                             |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| Atap bukan untuk hunian                                                                      | 20 (0,96)                                                                                                               | Ya (4.8.2)                                          | -                                                                             |                     |                     |
| Atap untuk tempat berkumpul                                                                  | 100 (4,79)                                                                                                              | Ya (4.8.3)                                          | -                                                                             |                     |                     |
| Atap untuk penggunaan lainnya                                                                | Sama dengan<br>penggunaan<br>yang dilayani                                                                              | Ya (4.8.3)                                          | -                                                                             |                     |                     |
| <b>Awning dan kanopi</b>                                                                     |                                                                                                                         |                                                     |                                                                               |                     |                     |
| Atap konstruksi fabric yang<br>didukung oleh struktur rangka<br>kaku ringan                  | 5 (0,24)                                                                                                                | Tidak (4.8.2)                                       | -                                                                             |                     |                     |
| Rangka penutup layar penutup                                                                 | 5 (0,24)<br>berdasarkan<br>area tributari<br>dari atap yang<br>didukung oleh<br>komponen<br>struktur rangka             | Tidak (4.8.2)                                       | -                                                                             | 200 (0,89)          |                     |

(Sumber : SNI 1727-2020, Tabel 4.3.1)

### 2.3.6.3 Beban Hujan

Setiap komponen atap memerlukan perancangan yang dapat menahan beban akumulasi air hujan apabila terjadi penyumbatan pada sistem drainase utama. Selain itu, atap juga harus memiliki kemampuan untuk secara merata menahan berat



karena tingginya permukaan air yang melebihi jalur pembuangan air sekunder dalam kerangka desainnya (Pasal 8.3, SNI 1727-2020)

$$R = 5,3 (d_s + d_h)$$

$$R = 0,0098 (d_s + d_h)$$

Keterangan:

R : Beban air hujan pada atap yang tidak melengkung (kN/m<sup>2</sup>)

d<sub>s</sub> : Tinggi statis (mm)

d<sub>h</sub> : Tinggi hidrolik (mm)

#### **2.3.6.4 Beban Angin**

Beban angin diakibatkan oleh tekanan negatif dan tekanan positif atau udara yang bergerak tegak lurus terhadap permukaan struktur yang sedang dikerjakan. Tekanan positif dan negatif dihitung dengan melakukan operasi perkalian antara tekanan angin dengan koefisien angin, dimana hasil perkalian keduanya dinyatakan dalam satuan Kg/m<sup>2</sup>.

Menurut SNI 1727-2020 dalam merancang suatu gedung harus memenuhi persyaratan beban angin sesuai pasal 26 sampai pasal 31, serta harus diperhatikan Perancangan Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan Komponen dan Klading (K&K).

#### **2.3.6.5 Beban Gempa**

Beban gempa merupakan gaya yang diberikan pada struktur sebagai reaksi terhadap gaya inersia yang timbul dari gerakan tanah, yang dapat dikaitkan dengan aktivitas tektonik atau vulkanik, sehingga berdampak pada integritas struktural. Akibatnya sangat penting untuk melakukan analisis menyeluruh terhadap efek beban tersebut. Pedoman untuk perhitungan dan penilaian beban seismik digambarkan dalam standar (SNI 1726-2019), yang mencakup berbagai topik yang komprehensif dari penyebab yang mendasari peristiwa seismik hingga metodologi untuk menghitung beban seismik.

## 2.4 Standar Ketahanan Gempa

### 2.4.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung

Risiko bangunan gedung dikelompokkan sesuai jenis manfaatnya. Kategori risiko dengan risiko yang terjadi terhadap jiwa manusia memiliki korelasi berbanding lurus, semakin tinggi tingkat risikonya maka dampak yang terjadi terhadap jiwa manusia juga semakin tinggi. Selain risiko terhadap jiwa manusia, kategori risiko juga dipengaruhi oleh aspek yang memiliki potensi untuk berdampak besar terhadap ekonomi, gangguan massal, dan kehidupan sehari-hari masyarakat.

**Tabel 2. 6** Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

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

Gedung dan non gedung yang mempunyai risiko rendah terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan tapi tidak dibatasi untuk, diantaranya:

- Gedung pertemuan
- Bioskop
- Stadion
- Fasilitas penitipan anak
- Fasilitas kesehatan yang tidak mempunyai unit bedah dan UGD
- Bangunan untuk orang jompo
- Penjara

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk kategori IV, yang mempunyai potensi terjadinya dampak ekonomi yang besar dan gangguan massal bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Fasilitas penanganan listrik
- Pusat pembangkit listrik biasa
- Pusat telekomunikasi
- Pusat penanganan limbah

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk kategori IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur , proses, penanganan, penyimpanan penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dengan kandungan yang melebihi batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.

III

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Bangunan monumental</li> <li>• Rumah ibadah</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan yang memiliki fasilitas bedah dan UGD</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap bencana alam</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Struktur tambahan(termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, struktur stasiun listrik, menara pendingin, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi saat kondisi darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang diperlukan dalam mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk dalam kategori risiko IV</p> | IV |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

(Sumber : SNI 1726-2019, Tabel 3)

**Tabel 2. 7** Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori Risiko | Faktor keutamaan gempa, $I_c$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1,0                           |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,50                          |

(Sumber : SNI 1726-2019, Tabel 4)

#### 2.4.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs adalah kategorisasi tanah yang ditentukan oleh penyelidikan tanah komprehensif yang dilakukan baik di *site* secara langsung maupun di laboratorium. Temuan dari penilaian kategorisasi lokasi menawarkan pedoman desain seismik dalam bentuk factor amplifikasi untuk struktur. Pada saat menetapkan pedoman desain seismik, harus dipertimbangkan hasil yang diperoleh

dari penentuan klasifikasi lokasi, sehingga diperlukan prosedur pengklasifikasian situs terlebih dahulu dengan acuan datatanah. Pemahaman klasifikasi situs dapat dipandu oleh SNI 1726-2019 khususnya pasal 5 yang didasarkan pada perhitungan rata-rata nilai uji penetrasi standar (NSPT). Klasifikasi situs sebagaimana digambarkan oleh SNI 1726-1920 disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 2. 8** Klasifikasi Situs

| Kelas situs                                                                                                               | $\bar{V}_{u_0}$ (detik)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\bar{M}$ atau $\bar{N}_{oh}$ | $\bar{S}_k$ (Pa) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 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                           | $\geq 100$       |
| SD (tanah sedang)                                                                                                         | 175 sampai 350                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 15 sampai 50                  | 50 sampai 100    |
| SE (tanah lunak)                                                                                                          | <175                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <15                           | <50              |
|                                                                                                                           | Atau setiap profil tanah yang mengandung > 3 m tanah dengan ciri – ciri : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser niraliir <math>\bar{S}_{u25}</math> kPa</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                               |                  |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik - situs yang mengikuti 0) | Setiap profil tanah yang mempunyai salah satu atau lebih dari ciri – ciri berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7.5</math> m dengan indeks plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_{u50}$ kPa |                               |                  |

**CATATAN :** N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 5)

**Tabel 2. 9** Klasifikasi Situs, Fa

| Kelas situs | Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko target (MCER) terpetakan pada periode pendek, T= 0.2 detik, S <sub>s</sub> |                      |                       |                      |                       |                      |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|             | S <sub>s</sub> ≤ 0.25                                                                                                                                      | S <sub>s</sub> = 0.5 | S <sub>s</sub> = 0.75 | S <sub>s</sub> = 1.0 | S <sub>s</sub> = 1.25 | S <sub>s</sub> ≥ 1.5 |
| SA          | 0.8                                                                                                                                                        | 0.8                  | 0.8                   | 0.8                  | 0.8                   | 0.8                  |
| SB          | 0.9                                                                                                                                                        | 0.9                  | 0.9                   | 0.9                  | 0.9                   | 0.9                  |
| SC          | 1.3                                                                                                                                                        | 1.3                  | 1.2                   | 1.2                  | 1.2                   | 1.2                  |
| SD          | 1.6                                                                                                                                                        | 1.4                  | 1.2                   | 1.1                  | 1.0                   | 1.0                  |
| SE          | 2.4                                                                                                                                                        | 1.7                  | 1.3                   | 1.1                  | 0.9                   | 0.8                  |
| SF          | SS(a)                                                                                                                                                      |                      |                       |                      |                       |                      |

**CATATAN :** (a) S<sub>s</sub> = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik, lihat 0 (Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 6)

**Tabel 2. 10** Klasifikasi situs, Fv

| Kelas situs | Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko target (MCER) terpetakan pada periode pendek<br>1 detik, S <sub>1</sub> |                      |                      |                      |                      |                      |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|             | S <sub>1</sub> ≤ 0.1                                                                                                                                    | S <sub>1</sub> = 0.2 | S <sub>1</sub> = 0.3 | S <sub>1</sub> = 0.4 | S <sub>1</sub> = 0.5 | S <sub>1</sub> ≥ 0.6 |
| SA          | 0.8                                                                                                                                                     | 0.8                  | 0.8                  | 0.8                  | 0.8                  | 0.8                  |
| SB          | 0.8                                                                                                                                                     | 0.8                  | 0.8                  | 0.8                  | 0.8                  | 0.8                  |
| SC          | 1.5                                                                                                                                                     | 1.5                  | 1.5                  | 1.5                  | 1.5                  | 1.4                  |
| SD          | 2.4                                                                                                                                                     | 2.2                  | 2.0                  | 1.9                  | 1.8                  | 1.7                  |
| SE          | 4.2                                                                                                                                                     | 3.3                  | 2.8                  | 2.4                  | 2.2                  | 2.0                  |
| SF          | SS(a)                                                                                                                                                   |                      |                      |                      |                      |                      |

(Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 7)

### 2.4.3 Spektrum Respon Desain

Persamaan untuk penentuan spektrum respon desain (S<sub>a</sub>) dilandaskan pada SNI 1726-2019 sesuai nilai *periode* yang didapat. Di bawah ini persamaan yang di pakai, mengacu SNI 1726-2019, yaitu:

**Tabel 2. 11** Rumus Spektrum Respon Desain

| Keadaan                       | Rumus yang digunakan                   |
|-------------------------------|----------------------------------------|
| $T < T_0$                     | $S_a = S_{ds} (0,4 + 0,6 \cdot T/T_0)$ |
| $T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$ | $S_a = S_{ds}$                         |
| $T > T_s$ dan $T \leq T_l$    | $S_a = S_{d1}/T$                       |
| $T > T_l$                     | $S_a = S_{d1} \cdot T_l / T^2$         |

(Sumber : SNI 1726 -2019)

Keterangan:

$S_{ds}$  : Standar respons spektral percepatan desain periode pendek

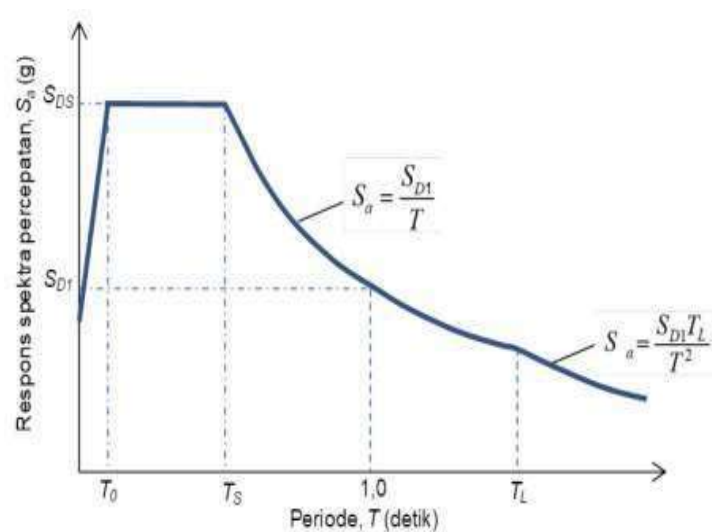
$S_{d1}$  : Standar respons spektral percepatan desain periode 1 detik

$T$  : Periode gelar mendasar struktur

$T_0$  :  $0,2 \cdot S_{d1}/S_{ds}$

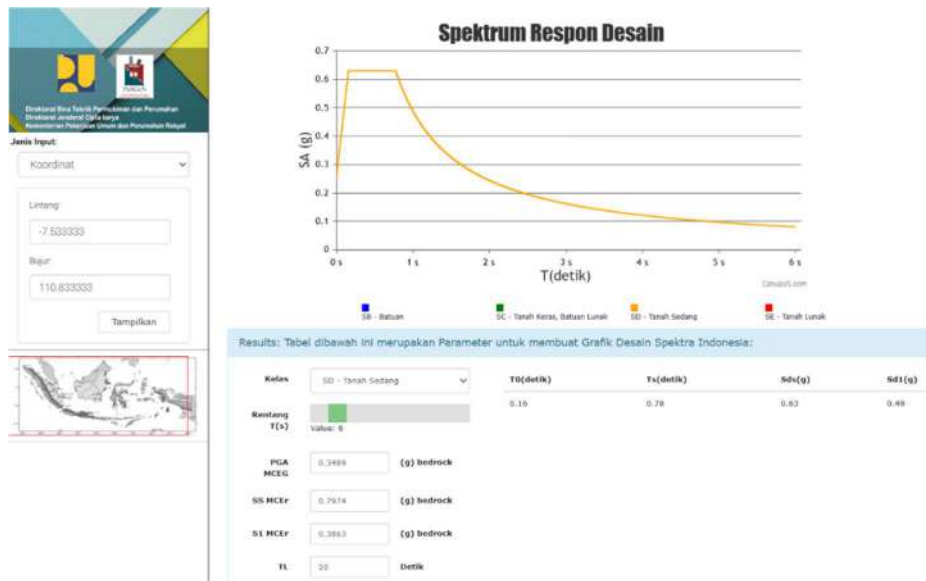
$T_s$  :  $S_{d1}/S_{ds}$

$T_l$  : Diperoleh dari peta transisi periode panjang pada gambar 2.4 yang nilainya diambil dari gambar 2.3



**Gambar 2. 2** Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726:2019 Gambar 3, 2019)



**Gambar 2. 3** Peta Respon Spektrum Desain Kota Surakarta  
(Sumber : website RSA Cipta Karya)

#### 2.4.4 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik (KDS) digunakan sebagai kriteria dalam penentuan kerangka momentum yang tepat untuk digunakan, dan setiap struktur harus dibangun sejalan dengan kategori risiko standar respons spektral dari percepatan desain sesuai SNI 1726-2019. Kategori desain seismik dikategorikan menurut parameter respon percepatan yang sesuai disetiap interval temporal, seperti yang disebutkan di bawah ini yang disebutkan di bawah ini.

**Tabel 2. 12** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0.67$            | A                  | A  |
| $0.167 \leq S_{DS} < 0.33$ | B                  | C  |
| $0.33 \leq S_{DS} < 0.50$  | C                  | D  |
| $0.50 \leq S_{DS}$         | D                  | D  |

(Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 8)



**Tabel 2. 13** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

(Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 9)

Nilai SDS (parameter respons percepatan pada periode pendek) dan SDI (parameter respons percepatan pada periode 1 detik) ditentukan dengan dua cara. Yang pertama dengan cara koefisien situs dikalikan dengan standar respons *spektral* percepatan gempa MCER ( $S_s$  atau  $S_1$ ) seperti persamaan di bawah:

$$SMS = F_{ax} \cdot S_s$$

$$SM1 = F_v \cdot S_1$$

Keterangan:

$F_a$  = Faktor amplifikasi getaran untuk *periode* singkat

$F_v$  = Faktor amplifier untuk *periode* 1 detik

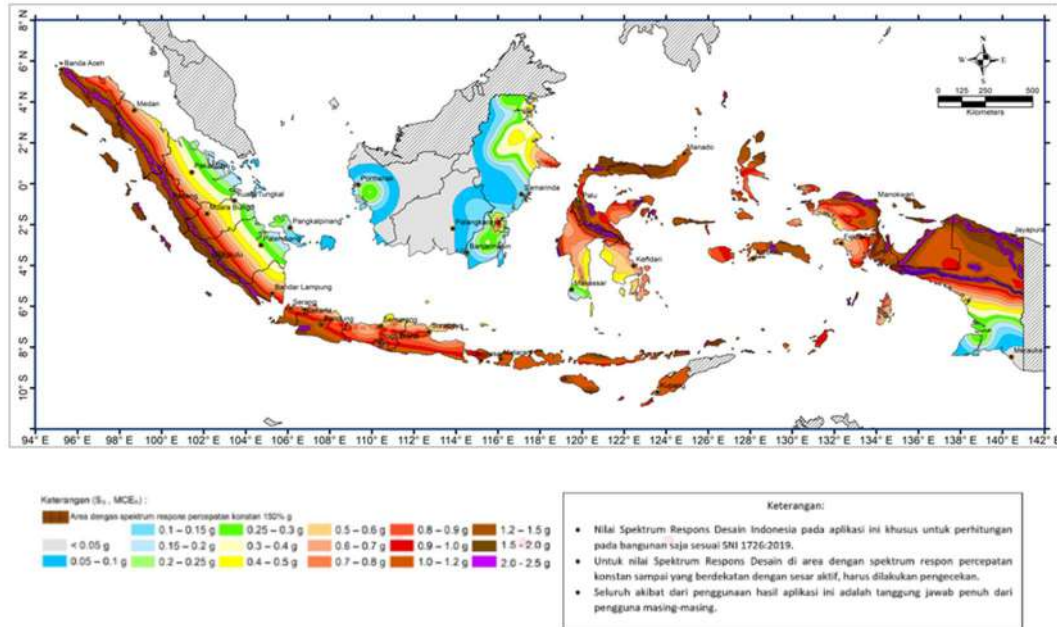
SMS = Parameter respons spektral akselerasi pada *periode* pendek

SM1 = Parameter respons spektral akselerasi pada periode 1 detik

Selanjutnya, data diperoleh melalui situs Direktorat Bina Teknik Pemukiman dan Perumahan serta Direktorat Jenderal Cipta Karya dengan memanfaatkan Aplikasi Desktop RSA (Respon Spektra Akselerasi) Indonesia, yang disesuaikan dengan koordinat geografis lokasi studi.

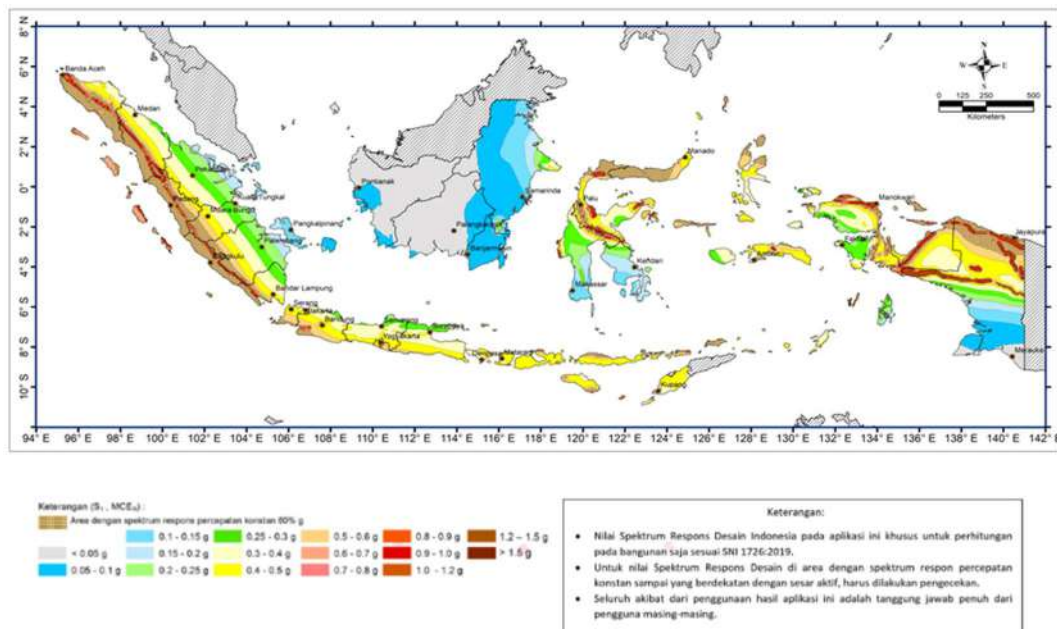
Parameter yang diambil meliputi nilai percepatan spektral gempa maksimum yang diperkirakan (MCER) untuk periode jangka pendek ( $S_s$ ) serta untuk periode 1 detik ( $S_1$ ) dihitung dengan *Risk-Targeted Maximum Earth Consideration* (MCER) dengan probabilitas 10%. Probabilitas suatu bangunan akan runtuh dalam waktu 50 tahun yang ditentukan dengan bilangan desimal

terhadap percepatan gravitasi. Informasi mengenai spektrum akselerasi diketahui melalui grafik spektral peta bahaya Indonesia.



**Gambar 2. 4** Peta Respon Spektra (Ss) Indonesia

Sumber : ([www.rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://www.rsa.ciptakarya.pu.go.id))



**Gambar 2. 5** Peta Respon Spektra (S1) Indonesia

Sumber : ([www.rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://www.rsa.ciptakarya.pu.go.id))

## 2.4.5 Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik suatu gedung tahan gempa mempunyai nilai koefisien modifikasi respons ( $R$ ), faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) berdasarkan jenis setiap bangunan yang akan dibangun. Nilai  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$ , batasan sistem struktur, dan batasan tinggi struktur terdapat pada SNI 1726:2019 Tabel 1, untuk *dual systems* (SRMK dan dinding geser), diperoleh data-data sebagai berikut:

**Tabel 2. 14** Faktor  $R$ ,  $C_d$ , Dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

| Sistem pemikul gaya seismik                                                                                                                           | Koefisien modifikasi respons, $R^a$ | Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$ | Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$ | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_s$ (m) <sup>d</sup> |    |                 |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                                                                                       |                                     |                                        |                                     | Kategori desain seismik                                                     |    |                 |                 |                 |
|                                                                                                                                                       |                                     |                                        |                                     | B                                                                           | C  | D <sup>e</sup>  | E <sup>e</sup>  | F <sup>f</sup>  |
| 19.Dinding geser batu bata polos didetail                                                                                                             | 2                                   | 2½                                     | 2                                   | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 20.Dinding geser batu bata polos biasa                                                                                                                | 1½                                  | 2½                                     | 1½                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 21.Dinding geser batu bata prategang                                                                                                                  | 1½                                  | 2½                                     | 1½                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser                                         | 7                                   | 2½                                     | 4½                                  | TB                                                                          | TB | 22              | 22              | 22              |
| 23.Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja | 7                                   | 2½                                     | 4½                                  | TB                                                                          | TB | 22              | 22              | 22              |
| 24.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya                                                                               | 2½                                  | 2½                                     | 2½                                  | TB                                                                          | TB | 10              | TB              | TB              |
| 25.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk                                                                                                | 8                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | 48              | 48              | 30              |
| 26.Dinding geser pelat baja khusus                                                                                                                    | 7                                   | 2                                      | 6                                   | TB                                                                          | TB | 48              | 48              | 30              |
| <b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>                                                                                                                 |                                     |                                        |                                     |                                                                             |    |                 |                 |                 |
| 1. Rangka baja pemikul momen khusus                                                                                                                   | 8                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 2. Rangka batang baja pemikul momen khusus                                                                                                            | 7                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | 48              | 30              | TI              |
| 3. Rangka baja pemikul momen menengah                                                                                                                 | 4½                                  | 3                                      | 4                                   | TB                                                                          | TB | 10 <sup>g</sup> | TI <sup>h</sup> | TI <sup>h</sup> |
| 4. Rangka baja pemikul momen biasa                                                                                                                    | 3½                                  | 3                                      | 3                                   | TB                                                                          | TB | TI <sup>h</sup> | TI <sup>h</sup> | TI <sup>h</sup> |
| 5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>h</sup>                                                                                           | 8                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah                                                                                                      | 5                                   | 3                                      | 4½                                  | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa                                                                                                         | 3                                   | 3                                      | 2½                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus                                                                                                | 8                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah                                                                                              | 5                                   | 3                                      | 4½                                  | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 10.Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen                                                                                     | 6                                   | 3                                      | 5½                                  | 48                                                                          | 48 | 30              | TI              | TI              |
| 11.Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa                                                                                                 | 3                                   | 3                                      | 2½                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 12.Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>h</sup>                                                                        | 3½                                  | 3 <sup>g</sup>                         | 3½                                  | 10                                                                          | 10 | 10              | 10              | 10              |
| <b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan</b>                         |                                     |                                        |                                     |                                                                             |    |                 |                 |                 |
| 1. Rangka baja dengan bresing eksentris                                                                                                               | 8                                   | 2½                                     | 4                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus                                                                                                       | 7                                   | 2½                                     | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 3. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>                                                                                                | 7                                   | 2½                                     | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 4. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>                                                                                                   | 6                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris                                                                                            | 8                                   | 2½                                     | 4                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus                                                                                    | 6                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |



| Sistem pemikul gaya seismik                                                                                                                           | Koefisien modifikasi respons, $R^a$ | Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$ | Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$ | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup> |    |                 |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                                                                                       |                                     |                                        |                                     | Kategori desain seismik                                                     |    |                 |                 |                 |
|                                                                                                                                                       |                                     |                                        |                                     | B                                                                           | C  | D <sup>e</sup>  | E <sup>e</sup>  | F <sup>f</sup>  |
| 19.Dinding geser batu bata polos didetail                                                                                                             | 2                                   | 2½                                     | 2                                   | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 20.Dinding geser batu bata polos biasa                                                                                                                | 1½                                  | 2½                                     | 1¼                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 21.Dinding geser batu bata prategang                                                                                                                  | 1½                                  | 2½                                     | 1¼                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser                                         | 7                                   | 2½                                     | 4½                                  | TB                                                                          | TB | 22              | 22              | 22              |
| 23.Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja | 7                                   | 2½                                     | 4½                                  | TB                                                                          | TB | 22              | 22              | 22              |
| 24.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya                                                                               | 2½                                  | 2½                                     | 2½                                  | TB                                                                          | TB | 10              | TB              | TB              |
| 25.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk                                                                                                | 8                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | 48              | 48              | 30              |
| 26.Dinding geser pelat baja khusus                                                                                                                    | 7                                   | 2                                      | 6                                   | TB                                                                          | TB | 48              | 48              | 30              |
| <b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>                                                                                                                 |                                     |                                        |                                     |                                                                             |    |                 |                 |                 |
| 1. Rangka baja pemikul momen khusus                                                                                                                   | 8                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 2. Rangka batang baja pemikul momen khusus                                                                                                            | 7                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | 48              | 30              | TI              |
| 3. Rangka baja pemikul momen menengah                                                                                                                 | 4½                                  | 3                                      | 4                                   | TB                                                                          | TB | 10 <sup>g</sup> | TI <sup>h</sup> | TI <sup>h</sup> |
| 4. Rangka baja pemikul momen biasa                                                                                                                    | 3½                                  | 3                                      | 3                                   | TB                                                                          | TB | TI <sup>i</sup> | TI <sup>i</sup> | TI <sup>i</sup> |
| 5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>                                                                                           | 8                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah                                                                                                      | 5                                   | 3                                      | 4½                                  | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa                                                                                                         | 3                                   | 3                                      | 2½                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus                                                                                                | 8                                   | 3                                      | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah                                                                                              | 5                                   | 3                                      | 4½                                  | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 10.Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen                                                                                     | 6                                   | 3                                      | 5½                                  | 48                                                                          | 48 | 30              | TI              | TI              |
| 11.Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa                                                                                                 | 3                                   | 3                                      | 2½                                  | TB                                                                          | TI | TI              | TI              | TI              |
| 12.Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>n</sup>                                                                        | 3½                                  | 3 <sup>o</sup>                         | 3½                                  | 10                                                                          | 10 | 10              | 10              | 10              |
| <b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan</b>                         |                                     |                                        |                                     |                                                                             |    |                 |                 |                 |
| 1. Rangka baja dengan bresing eksentris                                                                                                               | 8                                   | 2½                                     | 4                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus                                                                                                       | 7                                   | 2½                                     | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 3. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>2,h</sup>                                                                                                | 7                                   | 2½                                     | 5½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 4. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>                                                                                                   | 6                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris                                                                                            | 8                                   | 2½                                     | 4                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus                                                                                    | 6                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit                                                                                                        | 7½                                  | 2½                                     | 6                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus                                                                                                       | 7                                   | 2½                                     | 6                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa                                                                                                        | 6                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 10.Dinding geser batu bata bertulang khusus                                                                                                           | 5½                                  | 3                                      | 5                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 11.Dinding geser batu bata bertulang menengah                                                                                                         | 4                                   | 3                                      | 3½                                  | TB                                                                          | TB | TI              | TI              | TI              |
| 12.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk                                                                                                | 8                                   | 2½                                     | 5                                   | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |
| 13.Dinding geser pelat baja khusus                                                                                                                    | 8                                   | 2½                                     | 6½                                  | TB                                                                          | TB | TB              | TB              | TB              |

(Sumber : SNI 1726:2019, Tabel 12)

#### 2.4.6 Periode Fundamental

Periode fundamental struktur (T) adalah arah yang diverifikasi dari karakteristik serta deformasi struktur penahan beban yang sudah teruji. Saat menentukan

periode fundamental, batasan yang ditetapkan harus diperhatikan. Harus kurang dari hasil kali koefisien untuk batasan atas pada periode yang telah dihitung ( $C_u$ ) dan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ). Selain menentukan periode fundamental struktur ( $T$ ), juga bisa menentukan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) menggunakan rumus berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n$$

Ini adalah ketinggian struktur dalam satuan meter dari dasar hingga level tertinggi dan nilai koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditetapkan pada (Tabel 18, SNI 1726-2019).

**Tabel 2. 15** Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

| Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 derik, $S_{DI}$ | 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 : (SNI 1726 : 2019, Tabel 17)

**Tabel 2. 16** Nilai Parameter Periode Pendekatan Dan X

| Tipe Struktur                                                                                                                                                                                                                  | $C_t$  | $x$  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|
| System 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 system struktur lainnya                                                                                                                                                                                                  | 0.0488 | 0.75 |

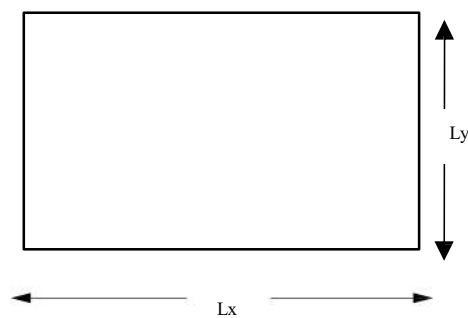
Sumber : (SNI 1726 : 2019, Tabel 18)

## 2.5 Perencanaan Pelat

Pelat adalah bagian komponen struktur bangunan gedung yang kegunaannya adalah untuk menyangga dan mendistribusikan beban mati maupun beban hidup kerangka pendukung vertikal yang akan diteruskan hingga fondasi (Tugiono, 2021), sehingga akan menambah kekuatan bangunan tersebut. Pelat biasanya berbentuk elemen

horizontal yang dipakai sebagai lantai maupun atap pada sebuah bangunan gedung. Pelat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan strukturnya, yakni satu arah dan dua arah yang masing-masing jenisnya memiliki fungsi dan karakteristik yang berbeda. Saat merencanakan pelat, terdapat dua hal yang harus diperhatikan yaitu perencanaan tebal pelat dan perencanaan penulangan pelat yang sesuai dengan SNI 2847-2019.

### 2.5.1. Preliminary Dimensi Pelat



**Gambar 2. 6** Dimensi Bidang Pelat  
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Keterangan:

$L_y$  = Bentang panjang

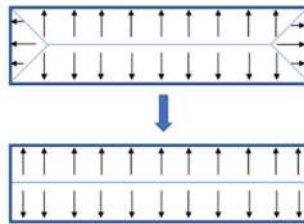
$L_x$  = Bentang pendek

**Tabel 2. 17** Tabel Syarat Penentuan Tipe Pelat

| Tipe Pelat                            | Syarat           |
|---------------------------------------|------------------|
| Pelat 1 arah ( <i>one way slab</i> )  | $L_y/L_x \geq 2$ |
| Pelat 2 arah ( <i>two ways slab</i> ) | $L_y/L_x < 2$    |

(Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 8.3.1.1)

**a. Perencanaan Pelat 1 Arah**



**Gambar 2. 7** Distribusi Beban Pelat Satu Arah

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

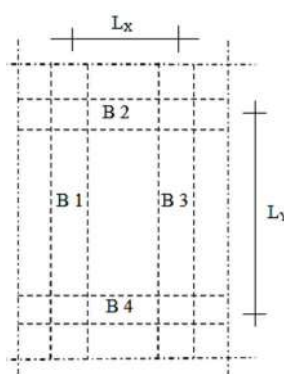
Pelat satu arah sebenarnya mirip dengan pelat dua arah. Namun karena salah satu sisinya lebih panjang sehingga sisi satunya menerima gaya yang relatif kecil, maka untuk penyederhanaan distribusi beban dianggap ke satu arah saja. Ketebalan pelat satu arah solid dengan kedua ujung menerus berpedoman pada (tabel 7.3.1.1 SNI 2847 Tahun 2019), yang meliputi :

**Tabel 2. 18** Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

| Kondisi tumpuan     | $h^{[1]}$ Minimum |
|---------------------|-------------------|
| Tumpuan sederhana   | $\ell/20$         |
| Satu ujung menerus  | $\ell/24$         |
| Kedua ujung menerus | $\ell/28$         |
| Kantilever          | $\ell/10$         |

<sup>[1]</sup>Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan  $f_y = 420$  MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3.

(Sumber : SNI 2847 – 2019,Tabel 7.3.1.1)



**Gambar 2. 8** Contoh Pelat 1 Arah

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Pada pelat diatas dianggap menumpu di balok B3 dan B1, sedangkan balok B2 dan B4 hanya memikul sedikit beban pelat. Maka tulangan utama dipasang pada arah x dan pada arah y sebagai tulangan pembagi. Biasanya letak pelat satu arah di lorong dan balkon.

#### b. Perencanaan Pelat 2 Arah

Pelat dua arah merupakan pelat yang mendistribusikan bebannya ke dua arah (x dan y) karena panjang dan lebarnya hampir sebanding. Penulangan utamanya dilakukan di kedua arah, contoh pelat dua arah yaitu untuk ruang utama yang bentuknya mendekati persegi.

**Tabel 2. 19** Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Non Prategang Tanpa Balok Interior (Mm)

| $f_y$ ,<br>MPa <sup>[2]</sup> | Tanpa <i>drop panel</i> <sup>[3]</sup> |                                  |                | Dengan <i>drop panel</i> <sup>[3]</sup> |                                  |                |
|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------------------------|----------------|
|                               | Panel eksterior                        |                                  | Panel interior | Panel eksterior                         |                                  | Panel interior |
|                               | Tanpa balok tepi                       | Dengan balok tepi <sup>[4]</sup> |                | Tanpa balok tepi                        | Dengan balok tepi <sup>[4]</sup> |                |
| 280                           | $\ell_n/33$                            | $\ell_n/36$                      | $\ell_n/36$    | $\ell_n/36$                             | $\ell_n/40$                      | $\ell_n/40$    |
| 420                           | $\ell_n/30$                            | $\ell_n/33$                      | $\ell_n/33$    | $\ell_n/33$                             | $\ell_n/36$                      | $\ell_n/36$    |
| 520                           | $\ell_n/28$                            | $\ell_n/31$                      | $\ell_n/31$    | $\ell_n/31$                             | $\ell_n/34$                      | $\ell_n/34$    |

(Sumber : Tabel 8.3.1.1, SNI 2847-2019)

#### 2.5.2. Perencanaan Tulangan Pelat

Tingkatan kekuatan dan kinerja struktur pelat dengan merancang tulangan di dalam pelat guna memberikan kekuatan tarik yang diperlukan untuk memikul beban. Proses perhitungan perencanaan tulangan pelat dimulai dari pengelompokan jenis pelat sesuai bentang panjang dan pendek, menentukan beban pada pelat, merencanakan kualitas beton pelat, tulangan baja, dan ketebalan pelat (Pasal 8.7.3.1.1. SNI 2847-2019).

Apabila tulangan pelat dipengaruhi oleh sudut pelat, maka momen terfaktor ( $M_u$ ) sejajar dengan sumbu diagonal dari bawah sudut pelat dan tegak lurus sumbu diagonal dari atas sudut pelat. Ketika menentukan luas tulangan pelat, penting untuk mengecek rasio penulangan dengan persamaan  $p_{min} < p < p_{max}$ .

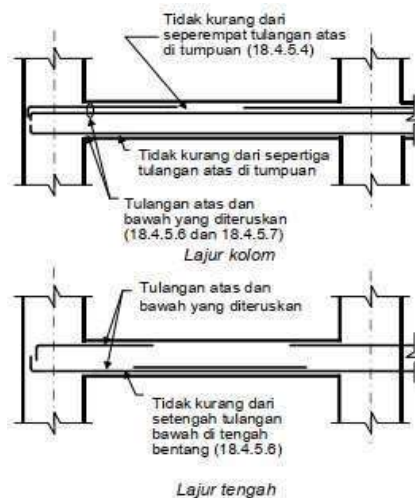


Luas tulangan pelat dua arah bergantung pada terjadinya momen-momen pada penampang kritis. Merupakan prasyarat bahwa perbandingan tulangan terhadap luas penampang total beton minimal 0,0014. Jarak antar tulangan harus kurang dari 2x tebal pelat (Pasal 8.7.2.3, SNI 2847-2019). Batas maksimum ditetapkan untuk menjamin respons struktural pelat terhadap beban sendiri, mengurangi potensi retak, serta mengantisipasi terjadinya beban terpusat pada area pelat yang sempit. Ketentuan ini juga mencakup perubahan dimensi yang disebabkan penyusutan maupun fluktuasi suhu. Adapun pengaturan jarak tulangan susut dan tulangan temperatur mengacu pada ketentuan dalam SNI berikut ini :

$$S_{maks} < 5 h_f$$

Jarak antar tulangan pada penampang kritis:

$$S_{maks} < 2 h_f$$



**Gambar 2. 9** Penempatan Tulangan Pada Pelat

Sumber : (SNI 2847-2019, Gambar R18.4.5.3)

## 2.6 Perencanaan Balok

Balok terdiri dari elemen struktural yang sifatnya tidak fleksibel yang fungsinya adalah untuk mendistribusikan beban ke kolom serta membatasi beban lateral. Pasal 18.6 SNI 2847-2019 menjelaskan tentang kriteria balok SRPMK, yakni kriteria untuk komponen rangka yang mengalami tekanan aksial melebihi  $\text{Agf}^c/10$ . Sehingga setiap pengelompokan beban memerlukan analisis tambahan dan kepatuhan terhadap kriteria yang relevan.

### 2.6.1. Preliminary Dimensi Balok

#### a. Tinggi Minimum Balok

Jenis perletakan dan tumpuan struktur balok pada balok nonprategang mempengaruhi tinggi minimum balok (Tabel 9.3.1.1, SNI 2847-2019).

**Tabel 2. 20** Syarat Tinggi Minimum Struktur Balok Nonprategang

| Kondisi Perletakan   | Tinggi Minimum (h) |
|----------------------|--------------------|
| Perletakan sederhana | $l/16$             |
| Menerus satu sisi    | $l/18.5$           |
| Menerus dua sisi     | $l/21$             |
| Kantilever           | $l/8$              |

(Sumber : SNI 2847-2019, tabel 9.3.1.1)

Berikut persamaan yang dipakai dalam *preliminary design* balok pada perencanaan struktur gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta:

$$\text{Tinggi balok induk} \rightarrow h = \frac{L}{12}$$

$$\text{Tinggi balok anak} \rightarrow h = \frac{L}{16}$$

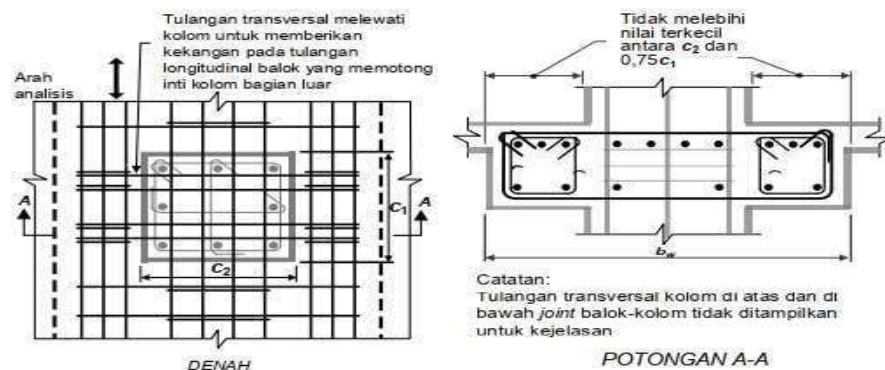
$$\text{Lebar balok} \rightarrow b = \frac{h}{2}$$

#### b. Lebar Minimum Balok

Lebar minimum balok ( $b_w$ ) harus memenuhi ketentuan  $b_w \geq 0,3h$  dan  $b_w \geq 250$  mm. Selain itu,  $b_w$  juga harus lebih kecil dari hasil penjumlahan antara dimensi elemen penumpu ( $c_2$ ) dan jarak dari sisi elemen struktur penumpu yang nilainya lebih kecil antara  $c_2$  atau  $0,75 \times$  dimensi total elemen penumpu ( $c_1$ ), sebagaimana diatur dalam Pasal 18.6.2.1 SNI 2847-2019.

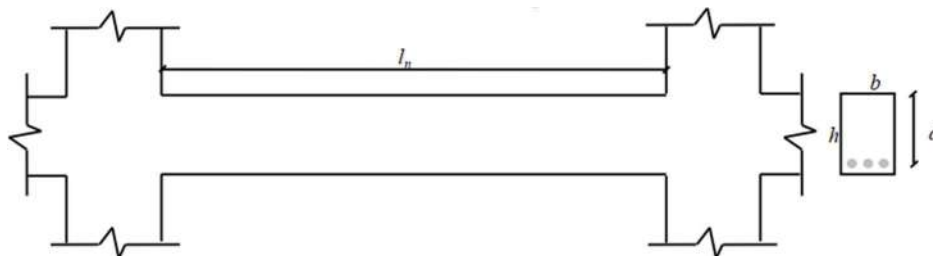
#### c. Panjang Bentang Bersih Balok

Untuk mencegah beban bangunan yang berlebih, bentang bersih ( $L_n$ ) harus lebih dari  $4 \times$  tinggi efektif balok ( $d$ ). Berikut cara menentukan tinggi efektif balok.



**Gambar 2. 10** Persyaratan Lebar Efektif Maksimum Balok (Wide Beam) Dan Tulangan Transversal

Sumber : (SNI 2847-2019, Gambar R18.6.2)



**Gambar 2. 11** Contoh Dimensi Penampang Balok  
( Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Rekapitulasi persyaratan *preliminary design* balok pada perencanaan struktur gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta berdasarkan Pasal 18.6.2.1, SNI 2847- 2019,yaitu :

1. Bentang bersih ( $l_n$ )  $\geq 4d$  (4 x tinggi efektif balok)
2. Lebar balok ( $b$ )  $\geq 0.5 h$
3. Lebar balok ( $b$ )  $\geq 250$  mm (balok induk)
4. Lebar balok  $<$  lebar kolom yang menumpu
5. Lebar balok  $< 0.75$  x panjang kolom penumpu

## 2.6.2. Perencanaan Tulangan Balok

### 2.6.2.1. Penulangan Longitudinal Balok

Berpedoman pada Pasal 18.6.3,SNI 2847-2019 mengenai persyaratan dan tata cara perencanaan penulangan tulangan longitudinal pada balok , yakni :

1. Jumlah dan luas tulangan minimum di sisi atas dan bawah penampang harus memenuhi syarat :

$$A_s \geq 0,025 \times b_w \times d$$

Rasio tulangan ( $\rho < 0,025$ ). Setidaknya harus ada dua tulangan yang berkelanjutan dan menerus pada sisi atas dan bawah komponen.

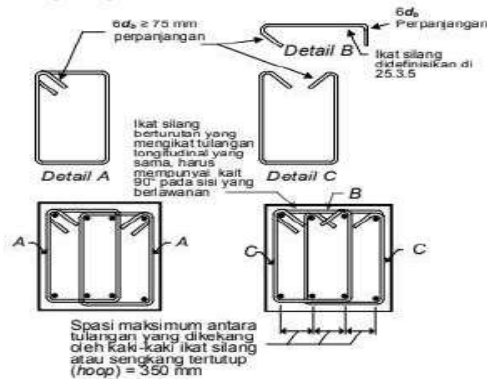
2. Kekuatan momen positif di permukaan *joint*  $\geq 1/2$  kekuatan momen *negative* di permukaan *joint*.
3. Kuat momen *negative* dan positif di setiap penampang  $\geq 1/4$  kuat momen maksimum pada muka kedua *joint*.

#### 2.6.2.2. Penulangan Transversal Balok

Perencanaan tulangan geser balok dimaksudkan guna mempertahankan tumpuan lateral terhadap tulangan leleh. Tujuannya untuk mencegah leleh lokal pada tulangan primer, menjaga keutuhan struktur, serta memperbesar kuat lentur balok. Ketentuan desain tulangan geser pada balok terdapat pada *point* 18.6.4, SNI 2847-2019, dengan persyaratan seperti berikut :

- a. Sengkang pengekan pada balok harus dipasang di daerah berikut:
  - Pada kedua ujung balok, sepanjang jarak  $2x$  tinggi balok dihitung dari permukaan kolom penumpu sampai tengah bentang.
  - Pada kedua sisi penampang balok, sepanjang jarak  $2x$  tinggi balok, di daerah yang memungkinkan akan terjadi kelelahan lentur akibat perubahan lateral yang melampaui batas lentur.
- b. Sengkang pengekan pertama dipasang dengan jarak maksimal 50 mm dari permukaan kolom penumpu. Jarak sengkang pengekan maksimal sebesar:
  - ( $d$  = tinggi balok)
  - Terkecil tulangan lentur utama, tulangan longitudinal samping yang disyaratkan tidak termasuk.
  - 150 mm
- c. Terdapat dua batang tulangan pada sengkang pengekan balok, yakni sengkang dengan kait gempa di ujung-ujungnya serta ikat silang untuk penutup. Ikatan silang tersebut untuk mengikat batang tulangan longitudinal yang sama secara

berurutan serta mempunyai kait 90° yang dipasang bergantian di kedua sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur.



**Gambar 2. 12** Sengkang Tertutup Dan Batasan Horizontal Maksimum

Sumber : (SNI 2847-2019 Gambar R18.6.4)

## 2.7 Perencanaan Kolom

Kolom yaitu komponen struktural yang berfungsi mentransfer beban vertikal dari bagian atas bangunan menuju ke struktur bawah hingga mencapai lapisan tanah pendukung. Berdasarkan ketentuan Pasal 18 ayat 18.7.1.1, SNI 2847-2019, kolom dengan SRPMK harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Ukuran minimum penampang kolom yang diukur melalui garis lurus yang melewati pusat geometri harus paling sedikit 300 mm.
2. Perbandingan antara dimensi penampang terkecil dengan tinggi elemen vertikal harus memiliki rasio minimal 0,4.

### 2.7.1. Preliminary Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{h_{kolom}}{h_{balok}} > \frac{I_{kolom}}{I_{balok}}$$

Keterangan:

$h_{kolom}$  = Tinggi bersih kolom

$h_{balok}$  = Bentang bersih balok

$I_{kolom}$  = Inersia kolom ( $1/2 \times b \times h^3$ )

$I_{balok}$  = Inersia balok ( $1/2 \times b \times h^3$ )

Berdasarkan pasal 18, SNI 2847-2019, syarat perencanaan dimensi kolom adalah sebagai berikut :

1. Kolom dengan SRPMK adalah bagian dari sistem pemikul gaya seismik yang bertujuan untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial.
2. Menerima beban aksial terfaktor lebih besar dari  $\frac{Ag \times f_c}{10}$

### 2.7.2. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan Pasal 18.7.4, SNI 2847-2019, syarat tulangan longitudinal yaitu:

1. Luas tulangan longitudinal ( $A_{st}$ ) harus pada interval 0.01-0.06 g.
2. Minimal terdapat 6 batang tulangan memanjang pada kolom dengan sengkang bundar.
3. Sambungan las harus memenuhi pasal 18.2.8 dan sambungan mekanis memenuhi pasal 18.2.7. Sambungan yang diperbolehkan yaitu sambungan dengan ketinggian sedang serta harus diranang sebagai sambungan tarik dan harus diperkuat secara melintang.

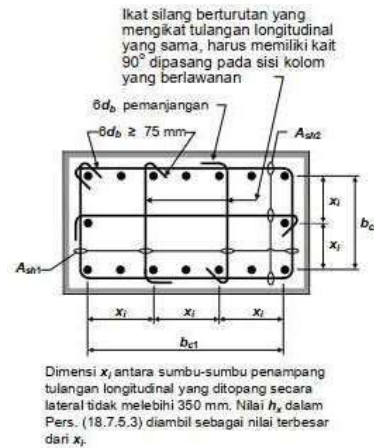
### 2.7.3. Tulangan Transversal

Berdasarkan pasal 18.7.5, SNI 2847-2019 sendi plastis pada kolom harus mempunyai tulangan melintang yang cukup. Luas  $l_o$  dari muka *joint* balok kolom pada kedua ujungnya. Panjang  $l_o$  daerah sendi plastis kolom, syaratnya harus lebih dari :

1. Tinggi penampang komponen pada muka *joint* balok kolom atau di daerah potensial leleh lentur
2.  $1/6$  dari total panjang komponen struktur
3. 450 mm

Jarak tulangan transversal di sekitar  $l_o$  diambil kurang dari nilai minimum dari:

1.  $\frac{1}{4} d$  terkecil komponen struktur
2.  $6d$  tulangan longitudinal
3.  $100 \text{ mm} \leq S_o = 100 + \left(\frac{350-h}{3}\right) \leq 150 \text{ mm}$



**Gambar 2. 13** Penulangan Transversal Pada Kolom

Sumber : (SNI 2847:19, Gambar R18.7.5.2)

## 2.8 Perencanaan *Strong Column Weak Beam (Beam Sway)*

Prinsip “*Strong Column Weak Beam*” adalah prinsip struktur yang menjamin bahwa kekuatan suatu kolom lebih besar daripada kekuatan balok. Konsep ini harus diperhatikan ketika merencanakan bangunan tahan gempa, karena jika tidak maka struktur bangunan bisa rusak total atau mengalami kegagalan total. Menurut Pasal 18.7.3.3 SNI 2847-2019, persyaratan *Strong Column Weak Beam* yaitu:

$$\sum M_{nc} \geq (1.2) \sum M_{nb}$$

$\sum M_{nc}$  = kekuatan lentur nominal kolom yang dihitung pada muka sambungan yang menopang sambungan.

$\sum M_{nb}$  = kekuatan lentur nominal balok yang dihitung pada muka sambungan yang membingkai sambungan.

## 2.9 Perencanaan Dinding Geser

Dalam perencanaan tebal dinding geser menurut SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019 mempunyai 3 (tiga) syarat yang harus dipenuhi:

| Syarat 1                                     | Syarat 2                        | Syarat 3                                        |
|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|
| Panjang ( $l_w$ )/ 25<br>Tinggi ( $h_w$ )/25 | 8 x Diameter tulangan ( $D_t$ ) | $\frac{f_y \times D_t}{5,4 \times \sqrt{f_c'}}$ |

Dari ketiga syarat tersebut diambil tebal minimum yang terbesar.

Kebutuhan tulangan vertikal dan horisontal :

1. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.10.2.2 menjelaskan bahwa paling sedikit dua lapis tulangan harus dipakai pada suatu dinding jika  $V_u > 0,17A_{cv}\lambda\sqrt{f_c'}$  atau  $h_w/l_w \geq 2,0$  dimana  $h_w$  merupakan tinggi dinding dan  $l_w$  merupakan lebar dinding secara keseluruhan. Sedangkan  $A_{cv}$  merupakan luas penampang dinding geser.
2. Untuk dinding struktural, rasio tulangan longitudinal  $\rho_l$  dan rasio tulangan transversal  $\rho_t$  minimum adalah 0,0025, dan spasi maksimum arah tulangan adalah 450 mm. Kecuali jika  $V_u \leq 0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f_c'}$ ,  $\rho_l$ ,  $\rho_t$  dapat direduksi sesuai dengan ketentuan dalam pasal 18.10.2.1 SNI 2847-2019.
3. Penulangan geser horizontal dan vertikal dinding geser berdasarkan  $V_n$  kekuatan geser dinding struktur tidak boleh melebihi  $V_n = A_{cv}(\alpha\lambda\sqrt{f_c'} + \rho_t f_y)$ , dimana koefisien  $\alpha$  adalah 0,25 untuk  $h_w/l_w \leq 1,5$  dan 0,17 untuk  $h_w/l_w \geq 2,0$  sesuai dengan pasal 18.10.4.1 SNI 2847-2019.
4. Untuk tulangan geser dinding ada pada Pasal 10.6.2 SNI 2847-2019 *special boundary elemen* jika jarak  $c$  (sumbu netral) dari serat terluar zona tekan lebih besar dari nilai berikut:

$$C \geq \frac{\ell_w}{600(1,5\delta_w/h_w)}$$

## 2.10 Perencanaan *Pile Cap*

*Pile cap* merupakan pelat kaku struktural beton bertulang, yang mendistribusikan gaya kolom ke sekelompok tiang individu sesuai rumus keling. Asumsi utama dalam rumus keling adalah bahwa *Pile cap* harus cukup kaku untuk mendistribusikan beban secara merata. Sebagian besar *Pile cap* dirancang berdasarkan prosedur jalan pintas atau aturan praktis untuk jarak tiang, ketebalan *Pile cap*, dan jarak tepi minimum *Pile cap* dari pusat atau tepi tiang (Magade S.B., Ingle R.K, 2019). *Pile cap* memiliki bentuk yang bervariasi sesuai dengan fungsinya yakni untuk menahan gaya geser akibat pembebanan pada struktur batas. *Pile cap* dapat berbentuk segitiga maupun persegi Panjang.



Ketentuan kriteria desain *Pile cap* dapat dihitung dengan berpedoman pada Pasal 13.4.2 SNI 2847-2019 yaitu:

1. Ketebalan *pile cap* harus dirancang dan dihitung dengan cermat agar mencapai tinggi efektif minimum selimut beton sebesar 300 mm.
2. Perhitungan momen dan gaya geser terfaktor mengacu pada reaksi masing-masing tiang, yang diasumsikan terkonsentrasi pada pusat penampang tiang.
3. *Pile cap* dirancang sebaik mungkin agar fondasi satu arah (a) dan fondasi dua arah (b):
  - $\phi V_n \geq V_u$ , dimana  $V_n$  dihitung berdasarkan pasal 22.5 untuk geser satu arah,  $V_u$  dihitung berdasarkan pasal 13.4.2.5 dan  $\phi$  berdasarkan pasal 21.2.
  - $\phi V_n \geq V_u$ , dimana  $V_n$  dihitung berdasarkan pasal 22.6 untuk geser dua arah,  $V_u$  berdasarkan pasal 13.4.2.5 dan  $\phi$  berdasarkan pasal 21.2.

## 2.11 Fondasi

Fondasi merupakan elemen struktur bawah yang berfungsi mentransfer beban dari struktur di atasnya ke lapisan tanah yang berada di bawah. Secara umum, fondasi dibedakan menjadi dua tipe, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Pada Tugas Akhir ini digunakan tipe fondasi dalam berupa *bored pile*.

### 2.11.1. Fondasi *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* adalah jenis fondasi dalam yang berbentuk pipa silinder dengan diameter tertentu. Pemasangannya dilakukan dengan cara mengebor tanah, dilanjutkan dengan mengisi tulangan yang sudah dirangkai serta yang terakhir dicor beton. Jika tanah mengandung air, maka perlu dipasang pipa besi (*temporary casing*) sebagai dinding penahan lubang supaya tidak longsor, pada saat pengecoran beton maka pipa ini akan dikeluarkan. (Syahputra, M. E., 2021)

Penggunaan fondasi *bored pile* memiliki keunggulan dibandingkan fondasi tiang pancang, diantaranya (Rohman, A. F. Q., 2022):

1. Pemasangannya tidak menimbulkan kebisingan dan getaran yang berdampak buruk pada bangunan di sekitarnya.

2. Kedalaman tiang bisa divariasi.
3. Pemasangannya bisa menembus batuan sedangkan pada tiang pancang akan kesulitan bila pemancang menembus lapisan batuan.
4. Tanah dapat diuji dan dibandingkan dengan data laboratorium.
5. Diameter tiang dapat diperbesar serta bagian ujungnya juga dibuat lebih besar sehingga dapat meningkatkan kapasitas dukungannya.

### 2.11.2. Perhitungan Kuat Izin Tiang Berdasarkan Kekuatan Bahan Fondasi dan Kekuatan Tanah

Dalam merencanakan struktur fondasi suatu bangunan, hal yang paling penting untuk dipertimbangkan yaitu daya dukungnya. Ini adalah kemampuan suatu fondasi untuk menopang semua beban yang diterima dari bangunan di atasnya. Kekuatan suatu fondasi sangat dipengaruhi oleh dua hal utama yakni:

- a. Kualitas bahan fondasi, semakin kuat dan kokoh bahan yang digunakan untuk membuat fondasi (misalnya, beton berkualitas tinggi) semakin baik pula kemampuannya dalam menahan beban yang diterima.
- b. Kondisi tanah, tanah sebagai tempat fondasi dibangun sangat berpengaruh terhadap kekuatan fondasi. Tanah yang padat dan stabil akan memberikan dukungan yang lebih baik dibandingkan tanah yang lunak atau tidak stabil.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kemampuan fondasi *bored pile* berdasarkan material fondasinya adalah sebagai berikut:

$$P \text{ tiang} = \sigma \text{ bahan} \times A \text{ tiang}$$

Keterangan:

$P \text{ tiang}$  = Kuat izin *bored pile*

$\sigma$  = Tegangan izin bahan tiang ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma \text{ baja}$  =  $0,35 - 0,5 \times f_y$

$\sigma \text{ beton}$  =  $0,25 - 0,33 \times f_y$

$A \text{ tiang}$  = Luas penampang *bored pile* ( $\text{cm}^2$ )

Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung daya dukung ujung *bored pile* berdasarkan kekuatan tanahnya.

$$Q_p \text{ tiang} = 4 \times A_p \text{ tiang} \times N_p$$

Keterangan:

$Q_p$  tiang = Daya dukung ujung tiang (ton)

$A_p$  tiang = Luas penampang ujung *Bored Pile* (ft<sup>2</sup>)

$N_p$  = Nilai rata-rata N-SPT di sekitar ujung *bored pile*

### 2.11.3. Menentukan Tahanan Selimut Tiang

Berdasarkan Mayerhof (1956), untuk menentukan nilai daya dukung friksi tiang atau ketahanan selimut tiang terhadap gesekan tanah di sekelilingnya, diperlukan perhitungan yang mengacu pada rumus berikut.

$$Q_s \text{ tiang} = \frac{A_s \text{ tiang} \times N}{\text{Koefisien}}$$

Keterangan:

$Q_s$  tiang = Daya dukung friksi tiang (ton)

$A_s$  tiang = Luas selimut tiang (ft<sup>2</sup>)

$N$  = Nilai N-SPT rata-rata di sepanjang tiang

### 2.11.4. Menentukan Daya Dukung Ultimate dan *Allowable* Tiang

Kapasitas dukung maksimum (*ultimate*) dari fondasi *Bored Pile* tercapai ketika seluruh beban pada struktur telah termobilisasi secara penuh, sehingga batas maksimum kemampuan fondasi dapat dihitung (Santoso dan Hartono, 2020). Daya dukung *ultimate* merupakan hasil penjumlahan antara kontribusi daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) dan daya dukung akibat gesekan sepanjang permukaan tiang.

$$Q_{\text{ultimate}} (Q_u) = Q_p \text{ tiang} + Q_s \text{ tiang}$$

Selanjutnya, menentukan nilai daya dukung izin *Bored Pile* berdasarkan daya dukung fondasi *Bored Pile* dibagi dengan nilai *safety factor* atau keamanan.

$$Q_{\text{izin}} = \frac{Q_{\text{ultimate}}}{\text{safety factor}}$$

Selanjutnya, menentukan nilai daya dukung bersih *Bored Pile* berdasarkan daya dukung izin fondasi *Bored Pile* dikurangi dengan berat sendiri tiang.

$$Q_{\text{netto}} = Q_{\text{izin}} - \text{Berat sendiri tiang}$$

$$\text{Berat sendiri tiang} = A \times L \times w$$

Keterangan:

A = Luas penampang tiang (cm<sup>2</sup>)

L = Kedalaman tiang (cm)

W = Masa jenis material tiang (kg/cm<sup>3</sup>)

#### 2.11.5. Menentukan Kebutuhan Jumlah Bored Pile

Penentuan jumlah fondasi Bored Pile dilakukan dengan mendistribusikan gaya akibat beban struktur secara merata ke seluruh elemen *Bored Pile* yang digunakan, maka diperlukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$n_{\text{tiang}} = \frac{P_{\text{max}}}{Q_{\text{netto}}}$$

#### 2.11.6. Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Tiang

Efisiensi kelompok tiang akan menurun apabila jarak antar tiang dalam satu grup tidak memenuhi ketentuan jarak minimum yang disyaratkan. Daya dukung total dari suatu kelompok tiang tidak setara dengan hasil perkalian antara kapasitas masing-masing tiang dan jumlah tiang dalam kelompok tersebut, melainkan dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang nilainya kurang dari satu. Oleh karena itu, persamaan daya dukung total kelompok tiang dapat ditulis menggunakan metode *Coverse Laborre Formula* (Fadilah, U. N., & Tunafiah, H., 2018) :

$$E_g = 1 - \left[ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right] \arctan D/s$$

Keterangan:

E<sub>g</sub> = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah tiang pada deret baris

n = jumlah tiang pada deret kolom

s = jarak antar as tiang

D = diameter tiang

Menentukan jarak antar tiang:

$$2D < S < 4D$$

Keterangan:

D = Diameter tiang

S = Jarak antar pusat tiang

Kapasitas *ultimit* kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang kelompok (Fadilah, U. N., & Tunafiah, H., 2018). :

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u$$

$$Q_g > P_u$$

Keterangan:

$E_g$  = beban maksimum kelompok tiang

$Q_u$  = kapasitas daya dukung tunggal

$n$  = jumlah tiang dalam satu kelompok

## 2.12 Pemodelan 3D

Pemodelan tiga dimensi (3D) dalam perencanaan Tugas Akhir ini dilakukan dengan *software Autodesk Revit*, yang mengacu pada data dan informasi yang bersumber dari gambar kerja (*shop drawing*) Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta.

## 2.13 Perencanaan Biaya

Penyusunan rencana biaya dilakukan pada tahap pra-konstruksi sebelum pelaksanaan proyek dimulai, dan dapat diperbarui secara berkala seiring berjalannya siklus proyek. Prinsip dasar dalam estimasi biaya adalah mengalikan volume setiap jenis pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan yang berlaku di wilayah setempat. Perencanaan biaya menyajikan data perencanaan bangunan beserta jumlah biaya, mulai dari keperluan administrasi sampai pelaksanaan pekerjaan. (Fernanda N. A., & Pratama R. D., 2023).

*Autodesk Revit* digunakan untuk menghitung kebutuhan volume pekerjaan secara otomatis melalui metode *Quantity Take Off (QTO)*, selanjutnya dihitung dengan mengalikan *QTO* dengan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) menggunakan *microsoft excel* sehingga diperoleh *Bill Of Quantity (BOQ)*.

### 2.13.1. *Quantity Take Off* (QTO)

*Quantity Take Off* (QTO) merupakan pengukuran atau perhitungan jumlah material, volume pekerjaan dan komponen yang diperlukan selama siklus hidup proyek. Dengan melakukan *Quantity Take Off* maka lebih akurat dalam memperkirakan jenis dan jumlah material yang diperlukan untuk melaksanakan pekerjaan sesuai perencanaan. *Quantity Take Off* pada perencanaan ini menggunakan *Autodesk Revit* yang berbasis BIM. Sehingga dapat secara otomatis mengekstraksi data *geometric* 2D serta informasi dari setiap elemen permodelan 3D yang disebut BIM-Based *quantity take off* (Mattern H., Scheffer M., Konig, 2018).

**Tabel 2. 21** Komparasi QTQ Konvensional Dengan QTQ Berbasis BIM

| Aspek                                   | QTQ Konvensional                                                                                                                                   | QTQ berbasis BIM                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kualitas informasi                      | Risiko bekerja dengan data lama serta dokumen yang tidak konsisten; gambar 2D mungkin mengandung kesalahan                                         | Kolaborasi berbasis BIM membantu bekerja dengan model perencanaan modern; terdapat fitur <i>clash detection</i> sehingga dapat mengurangi terjadinya kegagalan |
| Kuantitas informasi                     | Tergantung pada dokumen yang tersedia                                                                                                              | Model berisi informasi yang sesuai dengan fase perencanaan modern                                                                                              |
| Ketersediaan informasi                  | Manual (tidak hemat waktu dan rawan kesalahan)                                                                                                     | Mudah dan cepat karena berbasis <i>control model organization</i>                                                                                              |
| Kualitas QTQ                            | Manual (tidak hemat waktu dan rawan kesalahan)                                                                                                     | Kesalahan pengukuran dapat diminimalisir                                                                                                                       |
| Transparansi QTQ                        | Pemetaan manual antara gambar dan WBS dapat mengakibatkan penurunan transparansi; situasi kompleks yang memerlukan interpretasi gambar (subyektif) | Penawaran opsi transparansi visual yang lebih besar                                                                                                            |
| Penggunaan kembali QTQ                  | Pemetaan manual antara gambar dan WBS dapat mengakibatkan penurunan transparansi; situasi kompleks yang memerlukan interpretasi gambar (subyektif) | Terdapat simulasi 4D atau 5D; digunakan kembali untuk mengatur pesanan material                                                                                |
| Fleksibilitas terhadap perubahan desain | Perlu merevisi QTQ secara manual                                                                                                                   | Revisi efektif QTQ; kemungkinan membandingkan desain alternatif dengan sedikit usaha                                                                           |

(Sumber : Matettern,H et al, 2018)

### 2.13.2. Perhitungan RAB

Rencana Anggaran Biaya (RAB) yaitu perhitungan perkiraan biaya yang diperlukan *selama* siklus hidup proyek berdasarkan volume pekerjaan dengan mempertimbangkan harga satuan pekerjaan. Rencana Anggaran Biaya (RAB) bertujuan untuk bahan pedoman, pengawasan dan evaluasi untuk mengetahui kinerja proyek. (Ratag et al., 2021).

$$RAB = \sum \text{Volume pekerjaan} \times \text{Harga satuan upah Pekerjaan}$$

$$\text{Harga satuan Pekerjaan} = \text{HS Bahan} + \text{HS Upah}$$

### 2.13.3. Penjadwalan dan Simulasi Proyek

Penjadwalan proyek yaitu suatu parameter yang dijadikan pedoman keberhasilan suatu proyek secara menyeluruh selama siklus hidup proyek. Penjadwalan proyek memuat mengenai penentuan durasi yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan proyek serta urutan pekerjaan proyek dengan mengidentifikasi hubungan antar pekerjaan yang harus didahulukan, sehingga pekerjaan konstruksi dapat selesai tepat mutu, waktu dan biaya (Pratama D. P. G. W., 2023).

Penjadwalan proyek dapat dibuat dengan bantuan *Microsoft Project*, dengan menggunakan *Microsoft project* maka dapat menyajikan laporan pada setiap perkembangan kegiatan konstruksi serta dapat memonitoring penggunaan sumber daya seperti sumber daya tenaga, alat dan material. Hal ini disebabkan *microsoft project* merupakan kolaborasi metode penjadwalan diantaranya PERT, CPM, dan Gant Chart. Selain itu pada *Microsoft project* terdapat *tools predecessor*, sehingga dapat diketahui hubungan keterikatan antar aktivitas kegiatan sebelumnya dalam suatu proyek. (Rachmawati et al., 2022).

Simulasi proyek yang dilakukan merupakan penerapan BIM 5D dengan memanfaatkan *Autodesk Navisworks*, yang mencakup pemodelan struktur 3D, perhitungan volume pekerjaan yang dihasilkan dari desain 3D pada Autodesk Revit, estimasi biaya, serta penjadwalan proyek yang telah disusun sebelumnya. Tujuannya untuk mengevaluasi efektivitas pelaksanaan konstruksi dan mengidentifikasi potensi benturan (clash) antar elemen pekerjaan secara lebih dini.

## 2.14 Penelitian Terdahulu

Berikut ini lampiran beberapa jurnal yang telah melakukan perencanaan yang mempunyai korelasi terhadap penerapan *Building Information Modeling* (BIM) :

**Tabel 2. 22** Lampiran Jurnal Penelitian Terdahulu

| No. | Nama Author                                            | Tahun | Judul                                                                                                               | Inti sari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|--------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) | (2)                                                    | (3)   | (4)                                                                                                                 | (5)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1.  | Muhammad Riyan Hidayat, Eka Purnamasari, Akhmad Gazali | 2021  | PENERAPAN METODE <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> (BIM) PADA STRUKTUR PEMBANGUNAN GEDUNG FKPPi KOTA BANJARMASIN | <p><b>Tujuan :</b><br/>Menentukan hasil perhitungan kombinasi beban menggunakan nilai momen terbesar pada balok dan kolom, memodelkan gedung FKPPi menggunakan metode BIM, menghitung volume pekerjaan beton menggunakan perangkat lunak <i>Tekla Structures</i>, dan menghitung perkiraan biaya untuk struktur bangunan.</p> <p><b>Metode :</b><br/>1.) Studi literatur, mengumpulkan literatur dari penulis terdahulu, internet dan sebagainya;<br/>2.) Data sekunder, seperti <i>shop drawing</i>, data volume dan RAB Pembangunan Gedung FKPPi;<br/>3.) Detailing menggunakan <i>software tekla structures</i>, yang hasilnya nanti berupa pemodelan 3D, pembebanan, penulangan, <i>clash detection</i>, volume pekerjaan struktur balok dan kolom, RAB struktur kolom dan balok, hingga penarikan kesimpulan</p> <p><b>Hasil:</b><br/>1.) Dilakukan perhitungan kombinasi pembebanan menggunakan nilai momen terbesar pada kolom dan balok;<br/>2.) Gedung FKPPi berhasil dimodelkan menggunakan metode BIM dengan <i>software Tekla structures</i>.;<br/>3.) Volume pekerjaan beton berhasil dihitung menggunakan <i>software Tekla structures</i>;<br/>4.) Dilakukan estimasi biaya struktur bangunan dengan RAB pekerjaan struktur atas Gedung FKPPi sebesar Rp 491.552.904,36</p> |
| 2.  | Ronaldi, Iskandar Romey Sitompul, Alex Kurniawan       | 2022  | PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG RANGKA BAJA TAHAN GEMPA YANG TERINTEGRASI DENGAN BIM ( <i>BUILDING</i>                  | <p><b>Tujuan:</b><br/>Merancang struktur Gedung rangka baja tahan gempa yang terintegrasi BIM (<i>Building Information Modeling</i>)</p> <p><b>Metode:</b><br/>1.) Analisis PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) digunakan untuk menentukan percepatan gempa yang berasal dari batuan dasar (PGA);<br/>2.) <i>Direct Analysis Method</i> (DAM) digunakan untuk menganalisis struktur rangka baja tahan gempa dengan memperhitungkan efek orde dua dan ketidaksempurnaan elemen struktur. Pada metode</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |



|    |                                                                            |      |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|----------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                            |      | INFORMATION MODELING)                                                                                                     | <p>DAM, digunakan beban tambahan yang disebut <i>national load</i>;</p> <p>3.) Perancangan gaya pada sambungan baut dengan pelat ujung tebal yang digunakan untuk merancang sambungan momen pelat ujung pengaku dengan memperhatikan kekuatan nominal sambungan dan pengaruh efek <i>prying</i>;</p> <p>4.) Penggunaan <i>software Tekla Structural Designer</i> dan SAP2000 untuk melakukan pemodelan struktur dan analisis struktur rangka baja tahan gempa</p> <p><b>Hasil :</b></p> <p>1.) Integrasi BIM dalam proses desain struktur rangka baja tahan gempa terbukti bermanfaat dalam merencanakan struktur yang akurat dan efisien. Penggunaan <i>software Tekla Structural Designer</i> dan SAP2000 untuk pemodelan desain rinci, mempercepat proses fabrikasi dan konstruksi;</p> <p>2.) Perancangan sambungan baut dengan pelat ujung yang tebal untuk memberikan kekuatan dan stabilitas yang memadai dalam struktur rangka baja. Pertimbangan efek <i>prying</i> dan klasifikasi pelat ujung sebagai tebal atau tipis berdasarkan kondisi beban berkontribusi pada keandalan sambungan;</p> <p>3.) Analisis gaya gempa pada struktur menunjukkan bahwa spektrum respon gempa dari peta gempa tahun 2010 menghasilkan gaya internal yang lebih tinggi dibandingkan dengan peta gempa tahun 2017. Hal ini disebabkan oleh percepatan tanah yang lebih tinggi pada peta gempa</p> |
| 3. | Adam Rizky Christiandava, Adelia Azzahra, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi | 2023 | RE-DESIGN STRUKTUR GEDUNG HEAD OFFICE AWAN GROUP BERDASARKAN INTEGRASI BIM AUTODESK MELALUI REVIT, NAVISWORK, DAN SAP2000 | <p><b>Tujuan:</b></p> <p>Merencanakan ulang Gedung Head Office Awan Group menggunakan integrasi BIM berbasis perangkat lunak perencanaan <i>Autodesk Revit, Naviswork</i>, dan SAP2000</p> <p><b>Metode:</b></p> <p>Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif untuk menggambarkan dan menganalisis secara detail tentang rencana ulang Gedung Head Office Awan Group menggunakan integrasi BIM berbasis <i>software Autodesk Revit, Naviswork</i>, dan SAP2000</p> <p><b>Hasil:</b></p> <p>1.) Rencana ulang Gedung Head Office Awan Group menggunakan integrasi BIM berbasis <i>software Autodesk Revit, Naviswork</i>, dan SAP2000 berhasil dilakukan.</p> <p>2.) Analisis struktur menunjukkan bahwa semua penampang kolom dan balok yang direncanakan aman dan tidak mengalami <i>overstress</i>.</p> <p>3.) Estimasi anggaran untuk konstruksi Gedung Head Office Awan Group dihitung menggunakan <i>Quantity Take Off</i> dari <i>Autodesk Revit</i>, dengan total biaya sebesar Rp 4.661.246.792,98.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|    |                                                |      |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                |      |                                                                                                                                         | <p>4.) Penjadwalan proyek dilakukan menggunakan Microsoft Project, dengan total durasi 10 bulan untuk proses konstruksi.</p> <p>5.) Model bangunan disimulasikan menggunakan <i>Naviswork</i>, memungkinkan pemantauan visual kemajuan sesuai dengan jadwal yang direncanakan.</p> <p>Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menunjukkan efektivitas integrasi BIM dalam proses rencana ulang Gedung Head Office Awan Group dengan memastikan keamanan struktur dan manajemen proyek yang efisien</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 4. | Rofiq Maulana, Febriyanti Maulina, Noer Fadhly | 2023 | <p><i>BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) 4D PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG PUSAT PELAYANAN SYARIAH ISLAM DAN KEISTIMEWAAN ACEH</i></p> | <p><b>Tujuan :</b><br/>Tujuan penelitian ini adalah untuk menerapkan metode BIM pada desain bangunan konvensional dengan menggunakan Detail Engineering Design (DED) yang sudah tersedia. Selain itu, tujuan penelitian ini juga mencakup pembuatan <i>network planning</i> berdasarkan penerapan BIM pada proyek gedung konvensional, memasukkan informasi <i>scheduling</i> ke dalam model 3D, dan membuat simulasi dari model yang sudah terintegrasi dengan BIM</p> <p><b>Metode :</b><br/>Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian ini melibatkan implementasi metode BIM pada desain bangunan konvensional dengan menggunakan <i>Detail Engineering Design (DED)</i> yang sudah tersedia. Selain itu, penelitian ini juga mencakup pembuatan <i>network planning</i> berdasarkan penerapan BIM pada proyek gedung konvensional, memasukkan informasi <i>scheduling</i> ke dalam model 3D, dan membuat simulasi dari model yang sudah terintegrasi dengan BIM</p> <p><b>Hasil :</b><br/>1.) Hasil penelitian ini adalah berhasil menerapkan metode BIM pada desain bangunan konvensional dengan menggunakan <i>Detail Engineering Design (DED)</i> yang sudah tersedia.<br/>2.) Penelitian ini juga berhasil membuat <i>network planning</i> berdasarkan penerapan BIM pada proyek gedung konvensional, memasukkan informasi <i>scheduling</i> ke dalam model 3D, dan membuat simulasi dari model yang sudah terintegrasi dengan BIM.<br/>3.) Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan model 3D yang mengandung berbagai informasi seperti panjang, lebar, tinggi, dan material yang digunakan dalam model tersebut. Model 3D ini dapat menampilkan volume dan informasi yang terkandung di dalamnya secara detail.<br/>4.) Selain itu, penelitian ini juga berhasil membuat render foto dan render video dari model 3D yang telah dibuat</p> |
| 5. | Imam Sugeng                                    | 2023 | <p>ANALISA PENGARUH</p>                                                                                                                 | <p><b>Tujuan :</b><br/>Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|    |                                                                             |      |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Santoso, Agus Suroso, Mawardi Amin                                          |      | TINGKAT PENERAPAN BIM 5D TERHADAP KINERJA WAKTU PROYEK KONSTRUKSI                                                           | <p>mendapatkan pengetahuan yang komprehensif dan melakukan analisis menyeluruh dari berbagai faktor yang memainkan peran penting dalam proses aplikasi BIM 5D, dengan fokus khusus pada dampaknya pada kinerja waktu proyek konstruksi.</p> <p><b>Metode :</b><br/>Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pendekatan penelitian deskriptif dengan pemanfaatan teknik metode Q. Pendekatan ini menggunakan instrumen penelitian survei tertutup yang diberikan kepada total 53 responden kontraktor/konsultan. Instrumen survei dirancang untuk mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan penggunaan <i>Building Information Modeling</i> (BIM).</p> <p><b>Hasil :</b><br/>Dampak penerapan BIM 5D pada efisiensi waktu proyek konstruksi dapat dinilai melalui temuan penelitian nilai R-kuadrat (<math>R^2</math>), yang mencapai 94,250%. Selain itu, setiap nilai R-kuadrat melebihi 75% dianggap termasuk dalam kategori kuat. Berdasarkan perhitungan, telah ditentukan bahwa variabel Simulasi dan tahapan proyek memiliki tingkat pengaruh 30%, sedangkan variabel penjadwalan Pembelajaran berkontribusi 25% dan variabel validasi Visual untuk persetujuan pembayaran membawa bernilai 18%. Akibatnya, dapat disimpulkan bahwa Simulasi dan tahapan proyek berfungsi sebagai indikator paling menonjol dari dampak BIM 5D pada kinerja waktu proyek konstruksi.</p> |
| 6. | Amelia Putri Sabela, Luthfi Nindyapradana, Hermawan, Jati Utomo Dwi Hatmoko | 2021 | STUDI AWAL PEMODELAN <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> (BIM) 4D MENGGUNAKAN PROGRAM TEKLA STRUCTURES BERBASIS LIFE CYCLE | <p><b>Tujuan :</b><br/>Tujuan dari penyelidikan ini adalah untuk meningkatkan pemahaman dan kemahiran dalam menggunakan aplikasi yang didirikan BIM 4D melalui pemodelan arsitektur dengan aplikasi <i>Tekla Structures</i>. Pemodelan diterapkan pada struktur dua lantai yang meliputi fondasi, pelat lantai, kolom, dinding geser, dan balok. Pemodelan dijalankan selama tahap desain dalam siklus hidup proyek untuk mendapatkan representasi visual dari jadwal rencana. Prosedur pemodelan melibatkan memanipulasi data visual dua dimensi sampai konfigurasi tiga dimensi dicapai dalam aplikasi <i>Tekla Structures</i>. Selanjutnya, pembangunan jadwal kerja dilakukan untuk menghasilkan jadwal kerja tiga dimensi atau menggabungkannya dengan model tiga dimensi bangunan X.</p> <p><b>Metode :</b><br/>Teknik penelitian yang digunakan dalam penyelidikan khusus ini mencakup penggabungan pemeriksaan literatur yang relevan, mengumpulkan data, memanfaatkan Struktur Tekla untuk tujuan pemodelan, dan terlibat dalam wacana ilmiah. Tinjauan komprehensif dari literatur yang ada dilakukan untuk memperoleh informasi terkait dan pengetahuan dasar mengenai pemanfaatan <i>Tekla Structures</i> untuk pemodelan bangunan sebagai sarana</p>                                                                                                                                             |

|    |                                                             |      |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|-------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                             |      |                                                                                                                                                                     | <p>penerapan BIM 4D. Tujuan dari proses pemodelan ini adalah untuk secara visual mewakili jadwal yang direncanakan dan meningkatkan implementasi BIM 4D. Diskusi dilakukan untuk meneliti dan menafsirkan hasil dari proses pemodelan dengan cermat. Fase ini mencakup pengembangan penelitian lebih lanjut dan eksplorasi peningkatan potensial dalam prosedur pemodelan.</p> <p><b>Hasil :</b><br/> Temuan menunjukkan bahwa pemanfaatan <i>Tekla Structures</i> sebagai sarana untuk mengeksekusi BIM 4D dalam pemodelan bangunan dapat meningkatkan persepsi jadwal yang diproyeksikan. Penggabungan entitas 3D dengan penjadwalan proyek yang sudah ada sebelumnya dalam bidang upaya konstruksi memfasilitasi pemahaman yang lebih naluri tentang desain arsitektur oleh semua pemangku kepentingan yang terlibat. Namun demikian, penerapan BIM 4D di Indonesia tetap terbatas karena kelangkaan sumber daya manusia yang mahir yang mampu mengoperasikan aplikasi berbasis BIM. Wacana dan kemajuan lebih lanjut sangat diperlukan untuk menyempurnakan proses pemodelan dan mencapai tujuan mencapai jadwal proyek yang direpresentasikan secara visual.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 7. | Muhamad Awang Caesario, Nur Khotimah Handayani, Fauzan Noer | 2023 | IMPLEMENTASI KONSEP <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> (BIM) DALAM MENDUKUNG PENGESTIMASIAN BIAYA PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG 10 LANTAI DI KOTA BANDAR LAMPUNG | <p><b>Tujuan :</b><br/> Tujuan utama dari upaya penelitian ini adalah untuk secara efektif mengintegrasikan dan menggabungkan teknologi <i>Building Information Modeling</i> (BIM) ke dalam proses rumit perhitungan volume dan estimasi biaya, dengan fokus khusus pada bangunan 10 lantai besar yang sedang dibangun di kota terkemuka Bandar Lampung.</p> <p><b>Metode :</b><br/> Pendekatan yang digunakan dalam penyelidikan ini memerlukan pemanfaatan metodologi perencanaan yang cermat, yang menggabungkan studi kasus komprehensif yang berkaitan dengan bangunan 10 lantai yang terletak di lanskap perkotaan yang semarak Kota Bandar Lampung. Dalam batas-batas metodologi ini, para peneliti cerdas dengan terampil memanfaatkan kemampuan kuat dari perangkat lunak <i>Autodesk Revit</i> mutakhir, sehingga dengan mulus membangun model digital rumit yang dengan cermat menggambarkan berbagai elemen struktural yang membentuk bangunan tersebut. Selain itu, perangkat lunak inovatif ini juga memfasilitasi pelaksanaan komputasi volumetrik yang mulus, sehingga memungkinkan peneliti yang cerdas untuk memperoleh estimasi akurat yang berkaitan dengan biaya keseluruhan yang terkait dengan realisasi keajaiban arsitektur yang dibayangkan.</p> <p><b>Hasil :</b><br/> Hasil penyelidikan ini melibatkan pemanfaatan teknologi BIM dalam perhitungan volume dan estimasi biaya untuk usaha pembangunan gedung 10 lantai di Kota Bandar</p> |

|    |                                         |      |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|-----------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                         |      |                                                                                                                                                                                           | Lampung. Dengan menggunakan perangkat lunak <i>Autodesk Revit</i> , para peneliti secara efektif menghasilkan model elemen struktural bangunan dan melakukan perhitungan pada jumlah beton dan tulangan. Biaya yang diproyeksikan untuk pekerjaan beton dan tulangan sebesar Rp 15.513.189.580,08. Penggabungan teknologi BIM dalam usaha konstruksi dapat menghasilkan penghematan waktu, pengurangan kesalahan, dan peningkatan presisi dalam penilaian biaya.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 8. | Hananta Nur Hanggara, Yenny Nurchasanah | 2023 | IMPLEMENTASI <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> (BIM) DALAM ANALISIS STRUKTURAL MENGGUNAKAN <i>AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL</i> UNTUK OPTIMALISASI NILAI ENGINEERING | <p><b>Tujuan :</b><br/>Tujuan utama dari penyelidikan ini adalah untuk secara efektif menerapkan pemanfaatan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) dalam ranah analisis struktural, khususnya menggunakan alat perangkat lunak <i>Autodesk Robot Structural Analysis Professional</i> dan <i>Autodesk Revit</i>. Upaya khusus ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan proses Rekayasa Nilai dalam kaitannya dengan fase desain balok dan kolom beton bertulang. Selanjutnya, konteks menyeluruh untuk implementasi teknik-teknik ini adalah proyek konstruksi mengenai Tower ITS 2, sehingga mengilhami penelitian dengan aplikasi dunia nyata yang praktis dan nyata.</p> <p><b>Metode :</b><br/>Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah gabungan dari tinjauan pustaka, pengumpulan data, pemodelan menggunakan <i>Autodesk Robot Structural Analysis Professional</i> dan <i>Autodesk Revit</i>, analisis elemen struktur, dan perbandingan dengan data awal. Kajian difokuskan pada analisis balok dan kolom beton bertulang pada pembangunan Tower ITS 2. Analisis dilakukan dengan menggunakan implementasi BIM dengan <i>software Autodesk Robot Structural Analysis Professional</i> dan <i>software Autodesk Revit</i>. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan data awal untuk mengevaluasi kapasitas struktur dan desain perkuatan.</p> <p><b>Hasil :</b><br/>Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi <i>Building Information Modeling</i> (BIM) dengan <i>Autodesk Robot Structural Analysis Professional</i> dan <i>software Autodesk Revit</i> dalam analisis balok dan kolom beton bertulang pada pembangunan Tower ITS 2 berhasil dilakukan. Analisis menggunakan <i>Autodesk Robot SAP</i> menghasilkan model struktur 3D detail dan desain tulangan yang mampu menopang beban desain. Kapasitas elemen struktur, seperti balok dan kolom, dievaluasi dan ternyata cukup untuk menahan beban rencana. Integrasi BIM dengan perangkat lunak <i>Autodesk</i> dalam proses desain struktur terbukti efisien dan mengoptimalkan rekayasa nilai.</p> |

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan jurnal penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem *Building Information Modeling* (BIM) perlu dimaksimalkan secara lebih masif lagi. Pada perencanaan kali ini diterapkan pada proyek Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta, karena dalam proses perencanaannya belum menerapkan BIM serta belum menerapkan sistem SRPMK. Selain itu, akan dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap pengaturan sesuai dengan peraturan terkait. Perencanaan dimulai dengan merencanakan analisa struktur dengan “Sistem Ganda (SRPMK dan Dinding Geser)” menggunakan *ETABS*, kemudian pemodelan 3D serta perhitungan volume material menggunakan *Autodesk Revit*, kemudian dilanjutkan merencanakan anggaran biaya menggunakan *Microsoft Excel*, dilanjutkan melakukan penjadwalan proyek menggunakan *Microsoft Project* dan simulasi 4D (*time schedule*) dan 5D (estimasi biaya) dengan *autodesk naviswork*.