

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi BIM**

Metode *digital* terpadu yang dimanfaatkan dalam tahapan perencanaan, perancangan, pelaksanaan, hingga pengelolaan proyek konstruksi dengan menggunakan model tiga dimensi yang memuat informasi fisik dan fungsional bangunan secara menyeluruh merupakan gambaran singkat dari *Building Information Modeling* (BIM). Tidak hanya berperan sebagai media visualisasi desain, BIM juga berperan sebagai sistem pengelolaan proyek yang mendukung peningkatan ketepatan perencanaan serta efektivitas koordinasi antar pemangku kepentingan. Penerapan BIM 5D pada proyek pembangunan di Indonesia mampu mengintegrasikan aspek desain, waktu, dan biaya secara lebih optimal, sehingga proses perencanaan proyek menjadi lebih efisien, sistematis, dan terkendali (Soleh Ismail & Saputro Cahyo, 2023).

Dalam manajemen proyek konstruksi, BIM memiliki kontribusi strategis dalam meningkatkan performa pengendalian biaya sekaligus memperkuat sinergi antar pihak yang terlibat dalam proyek. Implementasi BIM 5D memungkinkan penggabungan model tiga dimensi dengan komponen biaya dan jadwal pelaksanaan, sehingga perencanaan dapat dilakukan secara lebih terintegrasi. Melalui fitur visualisasi dan simulasi yang komprehensif, risiko terjadinya *cost overrun* dapat ditekan karena setiap perubahan desain dapat langsung dianalisis dampaknya terhadap waktu dan anggaran. Penerapan BIM 5D secara optimal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja biaya proyek konstruksi di Indonesia, terutama dalam aspek pengendalian anggaran dan pemantauan kemajuan pekerjaan (Santoso et al., 2023).

##### **2.1.1 Klasifikasi BIM**

Parameter yang telah ditentukan sebelumnya yang menambahkan berbagai jenis informasi ke dalam model BIM merupakan penjabaran dari dimensi BIM itu sendiri.

Dimana, Setiap dimensi menambah kompleksitas dan detail pada model, sehingga membuatnya lebih berguna di sepanjang siklus hidup struktur. Beberapa dimensi BIM meliputi:

1. 2D : Informasi grafis dari sumbu x dan y, seperti denah, potongan, dan elevasi.
2. 3D : Visualisasi sistem koordinat 3D dari sumbu x, y, dan z, seperti tinggi, lebar, dan kedalaman.
3. 4D : Penyusunan jadwal yang mencakup seluruh tahapan desain hingga tahap konstruksi, memungkinkan simulasi dan visualisasi proses konstruksi.
4. 5D : Komponen biaya yang dimasukkan ke dalam model proyek, memungkinkan penganggaran dan estimasi di seluruh siklus hidup aset.
5. 6D : Keberlanjutan, seperti konsumsi energi dan estimasi, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik untuk lingkungan binaan yang lebih hijau dan berkelanjutan.
6. 7D : Manajemen fasilitas, seperti data aset dan spesifikasi teknis, memfasilitasi manajemen aset yang efisien.
7. 8D : Informasi keselamatan yang ditanamkan ke dalam model sejak tahap desain, memungkinkan penilaian risiko dan analisis bahaya.



**Gambar 2. 1** BIM 3D-8D

(Sumber : BIM Adroit Inc, 2018)

### 2.1.2 Software BIM

*Software* BIM mendukung pengelolaan data proyek melalui model digital tiga dimensi yang rinci dan terintegrasi. Aplikasi ini dimanfaatkan untuk menghasilkan, menyimpan, serta memperbarui informasi bangunan sepanjang siklus hidupnya, dimulai perencanaan dan konstruksi, hingga tahap operasional, pemeliharaan, renovasi, bahkan pembongkaran bangunan.

#### 1. Autodesk – Revit

Perangkat lunak berbasis metode *Building Information Modeling* (BIM) dalam perancangan bangunan secara terintegrasi, mencakup bidang arsitektur, struktur, dan sistem MEP (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*) (Ferry & Indrastuti, 2020). Revit memungkinkan pengguna untuk mengembangkan model tiga dimensi yang informatif dan parametrik, sehingga setiap perubahan desain akan secara otomatis memperbarui seluruh komponen gambar kerja dan dokumentasi terkait. *Software* ini juga mendukung proses visualisasi bangunan secara realistis serta menghasilkan dokumentasi teknis secara otomatis dan konsisten.



**Gambar 2. 2** Autodesk Revit  
(Sumber : Tekpon.com, 2026)

#### 2. ETABS

Perangkat lunak yang disebut *Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems* (ETABS) dimaksudkan untuk menganalisis dan merencanakan struktur bangunan gedung yang terbuat dari baja dan beton bertulang. ETABS mampu melakukan mengevaluasi pembebanan seperti beban hidup, mati, gempa, dan angin sesuai standar yang berlaku, serta mendesain elemen secara otomatis. Ada juga analisis lainnya seperti analisis linear yang mengasumsikan perilaku elastis struktur

dengan hubungan linier antara beban dan deformasi, yang dalam ETABS terdiri atas analisis statik linear dan dinamik linear (M Gote, 2025).



**Gambar 2. 3 ETABS**

(Sumber : Csiamerica.com, 2026)

### 3. Microsoft Project

Microsoft Project adalah *software* dalam mengelola suatu manajemen proyek dalam penjadwalan pekerjaan konstruksi. Perangkat lunak ini berfungsi dalam pengaturan dalam menyusun jadwal pelaksanaan, pengalokasikan sumber daya, memantau dan mengevaluasi kemajuan pekerjaan, mengendalikan biaya, serta analisa kinerja proyek secara sistematis (Suriati Abd. Muin et al., 2024).



**Gambar 2. 4 Microsoft Project**

(Sumber : Wikipedia, 2018)

### 4. Microsoft Excel

Perangkat lunak excel dengan fungsi untuk mengorganisir, media perhitungan, menganalisis, serta menyajikan pendataan berbentuk tabel maupun grafik, yang dilengkapi dengan fitur formula dan fungsi untuk perhitungan otomatis serta visualisasi data statistik atau numerik. Aplikasi ini sering dimanfaatkan dalam pengolahan data penelitian dan perhitungan teknis karena kemampuannya untuk

memproses angka dengan efisien dan sistematis pada berbagai bidang studi maupun pekerjaan profesional (Novita et al., 2023).



**Gambar 2. 5** *Microsoft Excel*

(Sumber : Wikipedia, 2019)

#### 5. Autodesk - Navisworks

Navisworks merupakan perangkat lunak untuk mengintegrasikan model tiga dimensi dari berbagai disiplin ke dalam satu model terkoordinasi, serta digunakan untuk melakukan analisis benturan (*clash detection*) antar komponen desain. Berdasarkan penelitian Agung Pradipta & Pangestuti (2021), *Navisworks* memiliki kemampuan mengidentifikasi konflik perencanaan melalui fitur *Clash Detective* setelah model diimpor (3D) dari perangkat lunak lain seperti *Revit*, sehingga potensi kesalahan desain dapat diketahui lebih dini dan mengurangi risiko pekerjaan ulang saat tahap konstruksi.



**Gambar 2. 6** *Navisworks*

(Sumber : Bluebeam.com, 2026)

## 2.2 Analisa Struktur

Struktur bangunan yang aman dan efisien bergantung pada kemampuan setiap elemennya dalam menahan gaya, tekanan, dan beban pada bangunan. SNI

1727:2020 tentang pembebanan dan perencanaan struktur, harus memperhatikan kekuatan dan kestabilan agar bagian struktural maupun nonstruktural tetap aman selama digunakan. Berikut ini adalah penjelasan tentang berbagai jenis beban yang digunakan oleh bangunan.

### 2.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban permanen yang disebabkan oleh berat elemen dan material konstruksi yang terpasang secara tetap pada struktur. Tangga, dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, pekerjaan finishing, serta elemen arsitektural dan struktural lainnya termasuk dalam beban ini sebagai bagian yang permanen dari bangunan. (BSN, 2020).

**Tabel 2. 1** Beban Mati Bangunan

Material	Berat Jenis	
	kN/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Beton (tidak bertulang)	22	2200
Beton bertulang	24 - 25	2400 – 2500
Baja	78.5	7850
Bata merah	17	1700
Adukan semen	20 – 21	2000 - 2100
Air	10	1000
Tanah (umum)	17 – 18	1700 – 1800
Pasir kering	16	1600
Pasir jenuh	18	1800
Kayu (kelas I)	10	1000
Aspal	14	1400

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2020)

### 2.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Menurut BSN (2020), beban yang berasal dari aktivitas dan penggunaan bangunan oleh penghuni maupun peralatan yang ada pada gedung merupakan definisi dari beban hidup. Beban hidup tidak termasuk ke dalam beban yang berasal dari proses yang di pengaruhi oleh lingkungan ataupun konstruksi.

**Tabel 2. 2** Klasifikasi Beban Hidup

No.	Hunian atau penggunaan	kPa	Kg/m <sup>2</sup>
1	Rumah tinggal	1.5 – 2.0	150 – 200
2	Kantor	2.5	250
3	Ruang kuliah, sekolah	2.5	250
4	Toko, restoran	2.5	250
5	Apartement, kamar hotel	2.0	200
6	Kamar rumah sakit, klinik	2.5	250
7	Dapur hotel, restoran	5.0	500
8	Koridor umum, lobi	3.0	300
9	Ruang olahraga	4.0	400
10	Ruang pertemuan dengan tempat duduk tetap	3.0	300
11	Ruang pertemuan dengan tempat duduk tetap seperti masjid, panggung penonton, dll	5.0	500
12	Tangga untuk 1 - 8	3.0	300
13	Tangga untuk 9 - 11	5.0	500
14	Parkir basement	4.0	400
15	Parkir terbuka (ground level)	8.0	800
16	Parkir lantai atas	4.0	400
17	Pabrik, ruang mesin, took mesin	4.0	400
18	Perpustakaan, gedung biasa, arsip	4.0	400

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2020)

### 2.2.3 Beban Angin (*Wind Load*)

BSN (2020) Pasal 26, perhitungan beban ini ditentukan berdasarkan beberapa faktor penting. Faktor tersebut meliputi kecepatan pada angin dasar sesuai kategori risiko pada bangunan, arah datangnya angin, kondisi lingkungan sekitar (eksposur), pengaruh topografi, ketinggian lokasi terhadap permukaan laut, tekanan angin rencana, efek hembusan angin, tingkat keterbukaan bangunan, serta koefisien tekanan internal. Semua parameter tersebut untuk memperoleh suatu nilai dari beban angin desain dan sesuai dengan kondisi bangunan dan lingkungannya.

### 2.2.4 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa merupakan suatu gaya yang timbul dalam struktur akibat adanya getaran pada tanah dan terjadi karena peristiwa alam, gempa bumi. Getaran yang terjadi menimbulkan respons pada bangunan dikarenakan interaksi antara tanah dengan struktur, serta terpengaruh oleh karakteristik dan kekakuan sistem struktur itu sendiri. Berdasarkan SNI 1726:2019, adapun ketentuan perhitungan beban gempa, antara lain :

#### 1. Kategori Resiko Gempa

Dalam perencanaan struktur, setiap bangunan dapat diklasifikasikan ke dalam kategori risiko tertentu yang memengaruhi besarnya gempa rencana. Oleh karena itu, respons gempa yang digunakan dalam perencanaan struktur harus dikoreksi menggunakan ( $I_e$ ) atau faktor keutamaan yang sesuai dengan tingkat risiko bangunan.

**Tabel 2. 3** Risiko Bangunan terhadap Beban Gempa

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

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori risiko</b>
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas masyarakat yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas penitipan anak</li> <li>• Penjara</li> <li>• Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan-bangunan monumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Rumah ibadah</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> </ul>	

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

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

## 2. Faktor Keutamaan ( $I_e$ ) pada Desain Struktur Tahan Gempa

**Tabel 2. 4** Nilai Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

## 3. Respon Sprekta Desain

Analisis pengaruh gempa pada struktur bangunan memerlukan penyusunan kurva spektrum respons desain yang disesuaikan dengan lokasi rencana pembangunan gedung. Kurva ini disusun berdasarkan data parameter seismik wilayah setempat dengan memanfaatkan aplikasi daring yang disediakan oleh Puskim melalui laman [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id). Melalui aplikasi tersebut, diperoleh Kurva Percepatan Spektrum Respons Desain untuk wilayah Kota Jakarta dan sekitarnya dengan klasifikasi tanah lunak (Kelas Situs SE). *Spektrum respons* desain disusun berdasarkan pedoman yang mengacu pada persyaratan berikut :

1. Apabila periode struktur  $T < T_0$ , maka besarnya percepatan *spektrum respons* percepatan desain ( $S_a$ ) diperoleh melalui persamaan sebagai berikut:

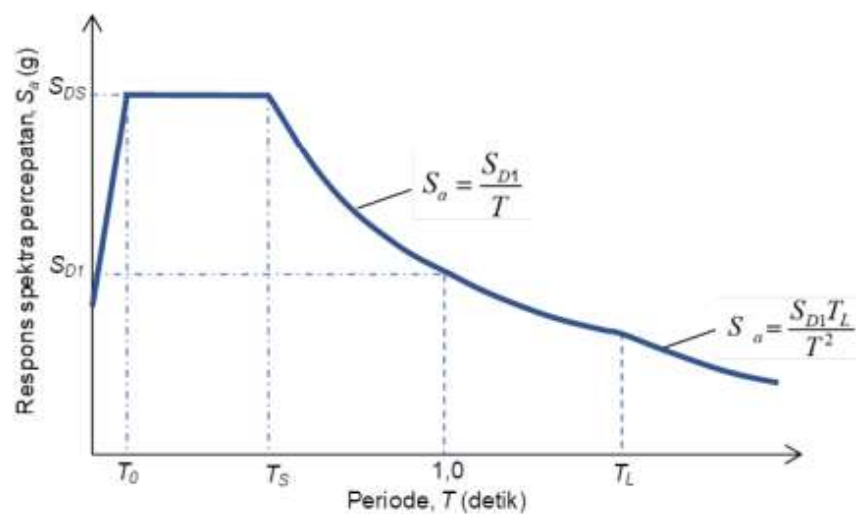
$$S_a = SDS \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

2. Untuk periode  $T$  yang berada pada rentang  $T_0 \leq T \leq T_s$ , nilai spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) ditetapkan sebesar SDS.
3. Pada interval periode yang melampaui  $T_s$  hingga mencapai  $T_L$ , respons spektral percepatan desain ( $S_a$ ) diperoleh melalui persamaan berikut:

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$



**Gambar 2. 7** Kurva Spektrum Respons Percepatan

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Berdasarkan BSN (2019), nilai percepatan *spektral desain* diperoleh melalui persamaan berikut ini :

$$SDS = (2/3) \times SMS$$

$$SD1 = (2/3) \times SM1$$

Sementara itu, nilai SMS dan SM1 diperoleh dari hubungan:

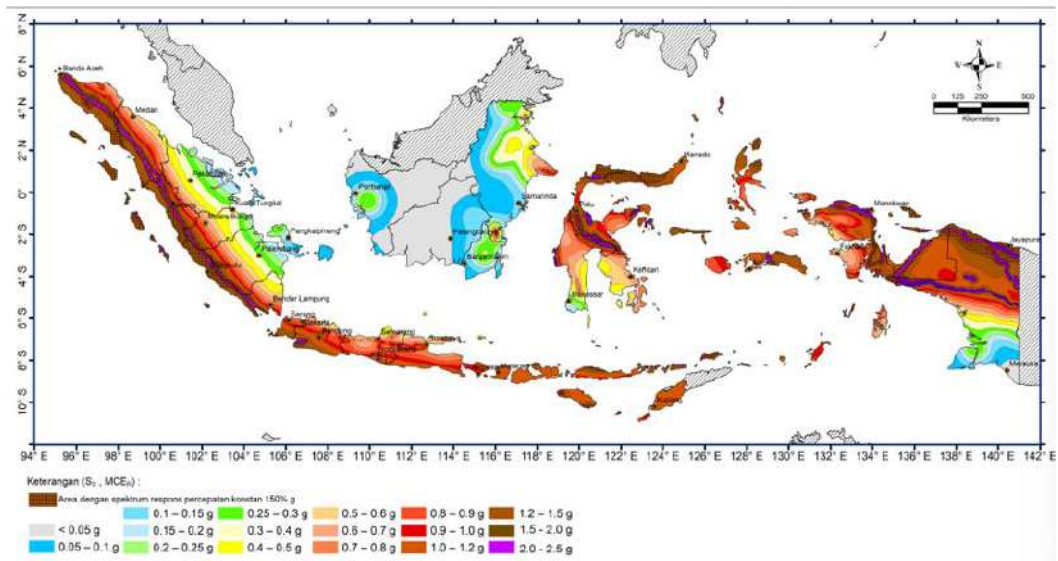
$$SMS = F_a \times S_s$$

$$SD1 = F_v \times S1$$

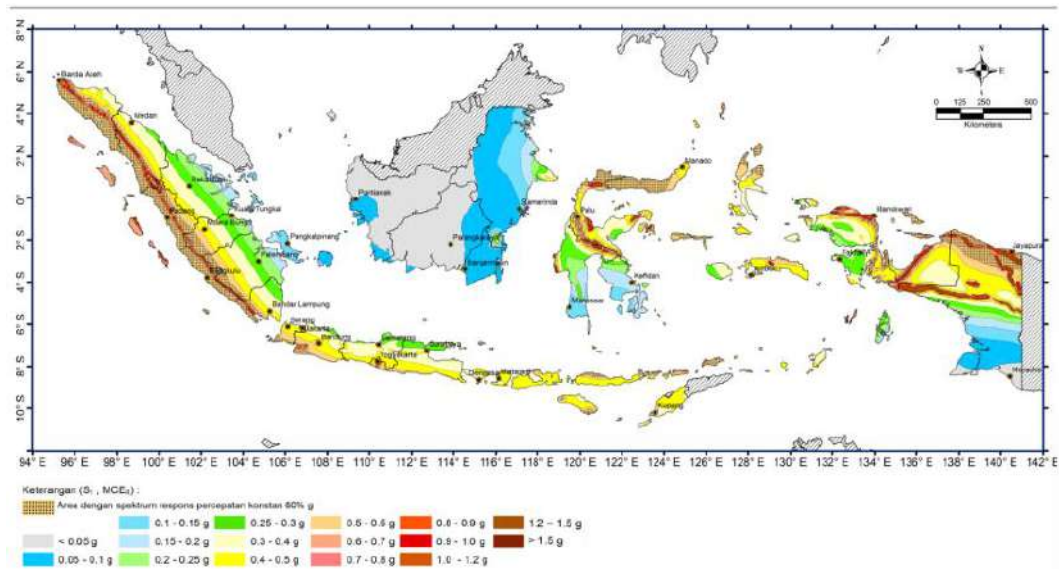
Keterangan:

$S_s$  = Nilai maksimum terpetakan untuk periode pendek.

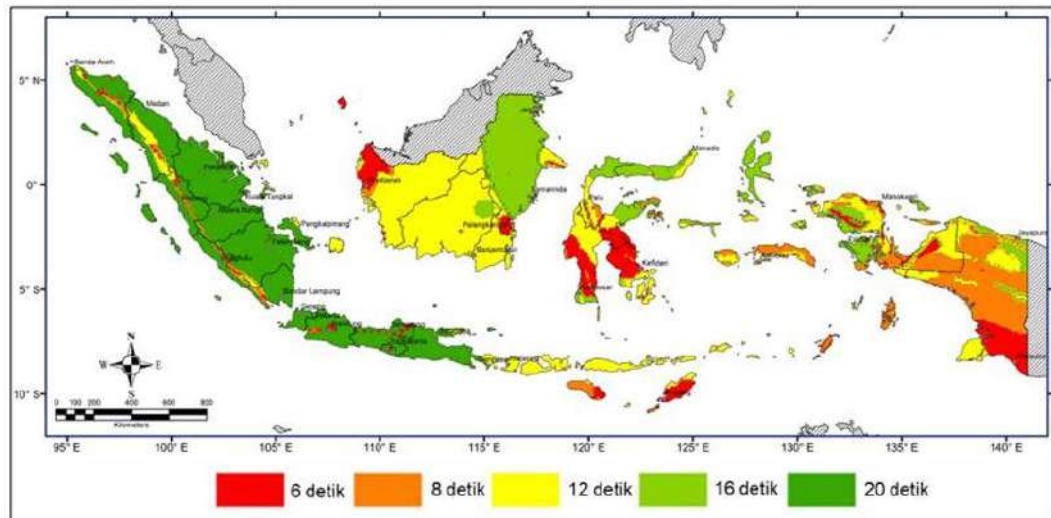
$S1$  = Nilai percepatan spektral maksimum pada periode 1 detik.



**Gambar 2. 8** Peta Parameter Percepatan Spektral S1 (1,0 detik)  
(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)



**Gambar 2. 9** Peta Parameter Percepatan Spektral Ss (Periode Pendek)  
(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)



**Gambar 2. 10** Peta Transisi Periode Panjang (TL) Indonesia  
(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

#### 4. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

**Tabel 2. 5** Kategori Desain Seismik untuk Periode 0,2 detik ( $S_{DS}$ )

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

**Tabel 2. 6** Kategori Desain Seismik untuk Periode 1,0 detik ( $S_{D1}$ )

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 : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

5. Pemilihan Sistem Rangka Pemikul Momen: SRPMK, SRPMM, dan SRPMB  
Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan sistem struktur yang digunakan untuk menahan beban gravitasi dan beban gempa melalui mekanisme balok dan kolom. Berdasarkan tingkat daktilitasnya, SRPM dibedakan menjadi SRPMB, SRPMM, dan SRPMK.

SRPMB memiliki tingkat daktilitas rendah dan digunakan pada wilayah dengan risiko gempa rendah. SRPMM memiliki daktilitas menengah dengan ketahanan gempa yang lebih baik dibandingkan SRPMB. Sedangkan SRPMK memiliki tingkat daktilitas tinggi serta kemampuan disipasi energi yang baik sehingga cocok digunakan pada daerah rawan gempa (Almufid & Santoso, 2021).

Pada perencanaan gedung ini dipilih Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) karena bangunan berada pada wilayah dengan tingkat risiko gempa tinggi. Selain itu, SRPMK memiliki faktor modifikasi respons ( $R$ ) yang lebih besar sehingga mampu mereduksi gaya gempa rencana dan memberikan tingkat keamanan struktur yang lebih baik dibandingkan SRPMM dan SRPMB (Alexandro dkk., 2025).

Penggunaan SRPMK juga menerapkan konsep strong column weak beam dan detailing tulangan yang lebih ketat sesuai ketentuan SNI 2847:2019 guna meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa.

#### 6. Nilai Koefisien Modifikasi Respon ( $R$ )

Penetapan besaran koefisien modifikasi respons ( $R$ ) dilakukan berdasarkan sistem struktur yang digunakan, dengan mengacu pada ketentuan Pasal 7.2.2 SNI 1726:2019.

**Tabel 2. 7** Koefisien Modifikasi Respon ( $R$ ) berdasarkan Sistem Struktur

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pem-besaran 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>
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>								
Dinding geser beton	5	2½	5	TB	TB	48	48	30

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pem-besaran Defleksi $C_d^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	$D^e$	$E^e$	$F^f$
bertulang khusus								
Dinding geser beton bertulang biasa	4	$2\frac{1}{2}$	4	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos didetail	2	$2\frac{1}{2}$	2	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos biasa	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser pracetak menengah	4	$2\frac{1}{2}$	4	TB	TB	12	12	12
Dinding geser pracetak biasa	3	$2\frac{1}{2}$	3	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser bata bertulang khusus	5	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	TB	TB	48	48	30
Dinding geser bata bertulang menengah	$3\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser bata bertulang biasa	2	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	TB	48	TI	TI	TI
Dinding geser bata polos didetail	2	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser bata polos biasa	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser bata prategang	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser bata ringan (AAC) bertulang	2	$2\frac{1}{2}$	2	TB	10	TI	TI	TI
Dinding geser bata ringan (AAC) polos biasa	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding rangka ringan kayu berpanel	$6\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	20	20	20

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pem-besaran Defleksi $C_d^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	$D^e$	$E^e$	$F^f$
Dinding rangka ringan baja canai dingin	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
Dinding rangka ringan panel geser	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) dengan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
<b>B. Sistem rangka bangunan</b>								
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¾	2	3¾	TB	TB	10	10	TI
Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser pracetak menengah	5	2½	4½	TB	TB	12	12	12
Dinding geser pracetak biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pem-besaran Defleksi $C_d^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	$D^e$	$E^e$	$F^f$
Rangka baja beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
Rangka baja beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
Rangka baja beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
Dinding geser bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pem-besaran 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>
Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
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
Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
<b>C. Sistem Rangka Pemikul Momen</b>								
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pem-besaran Defleksi $C_d^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	$D^e$	$E^e$	$F^f$
pemikul momen khusus								
Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10	TI	TI
Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pem-besaran Defleksi $C_d^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	$D^e$	$E^e$	$F^f$
pemikul momen biasa								
Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3	3½	10	10	10	10	10

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

#### 7. Penentuan Periode Getar Fundamental Struktur

Penentuan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dilakukan sebagai tahapan awal dalam analisis struktur dengan berpedoman ketentuan BSN (2019). Nilai periode ini digunakan untuk merepresentasikan perilaku dinamik struktur secara sederhana dan konservatif, sehingga dapat dijadikan dasar dalam perhitungan respons gempa rencana. Adapun penentuan nilai  $T_a$  dilakukan menggunakan rumusan empiris yang telah ditetapkan dalam standar tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut.

**Tabel 2. 8** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

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

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

### 2.2.5 Kombinasi Pembebanan

Perencanaan struktur bangunan harus memastikan bahwa seluruh komponen struktur, termasuk sistem fondasi, mampu menahan pengaruh beban yang telah diperhitungkan dalam kondisi terfaktor. Kapasitas kekuatan struktur tersebut harus memenuhi nilai efek beban yang dihasilkan dari kombinasi pembebanan dengan ketentuan yang berlaku. Dalam perencanaan tersebut, kemungkinan adanya beban yang tidak selalu bekerja secara bersamaan tetap harus diperhitungkan dalam kombinasi desain. Selain itu, pengaruh dominan dari beban angin dan gempa perlu dianalisis tanpa menyatukan kedua elemen tersebut, karena dalam satu kombinasi pembebanan, tidak semua jenis beban diwajibkan bekerja secara simultan. BSN (2019) Pasal 4.2.2.1.

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

## 2.3 Preliminary Design

### 2.3.1 Perencanaan Balok

Perancangan komponen balok pada struktur beton bertulang mengacu pada ketentuan SNI 2847 : 2019, tabel 9.3.1.1, standar ini menentukan ketinggian dari

minimum yang harus dipenuhi balok nonprategang guna menjamin kekuatan, kekakuan, serta kinerja struktur yang memadai. Ketentuan tersebut disajikan secara rinci, yang digunakan sebagai pedoman awal dalam menentukan dimensi balok pada tahap perencanaan struktur.

**Tabel 2. 9** Tinggi Minimum Balok Nonprategang

<b>Kondisi Perletakan</b>	<b>Minimum <math>h</math></b>
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Perencanaan balok induk didasarkan pada beberapa tahapan perhitungan sebagai berikut :

$$h_{\min} = l/12$$

$$b = h/2$$

Perencanaan balok anak didasarkan pada beberapa tahapan perhitungan sebagai berikut :

$$h_{\min} = l/16$$

$$b = h/2$$

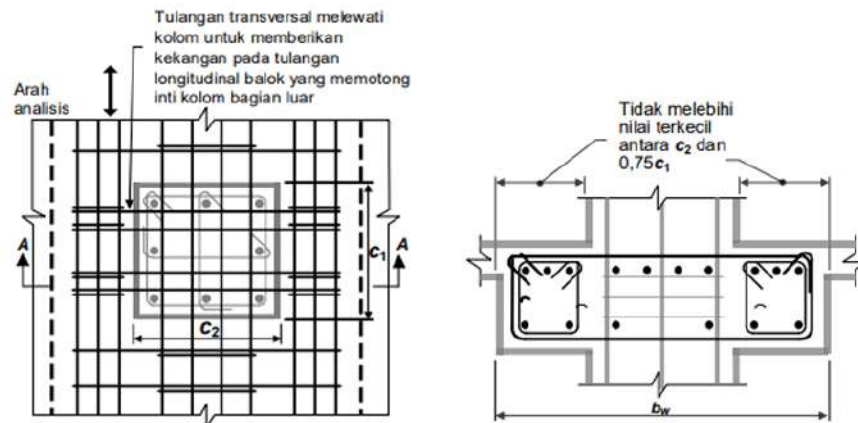
Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan lebar balok induk sesuai pada tabel 18.6.2.1 SNI 2847 : 2019. Ketentuan dimensi tersebut meliputi beberapa persyaratan antara lain :

1. Nilai bentang bersih balok wajib memenuhi persyaratan,  $L_n \geq 4d$

$$\text{Dimana, Bentang bersih balok (} L_n \text{)} = L - \frac{c_1}{2} - \frac{c_2}{2}$$

$$\text{Jarak efektif beton (} d \text{)} = h \text{ balok} - \text{cover} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2}\text{Øtul utama}$$

2. Lebar penampang balok ditentukan sebagai berikut :  $0,3h$  dan 250mm
3. Lebar balok yang menonjol melebihi lebar kolom penumpu pada setiap sisi tidak boleh melampaui nilai terkecil antara  $c_2$  dan  $0,75c_1$  pada masing-masing sisi kolom.



**Gambar 2. 11** Lebar Efektif Maksimum dan Tulangan Transversal  
(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

### 2.3.2 Perencanaan Pelat Lantai

Perhitungan dalam perencanaan pelat lantai struktur beton bertulang dilakukan dengan berpedoman dalam SNI 2847:2019, sebagai berikut :

- a. Mencari nilai  $L_n$  untuk menetapkan apakah pelat tersebut 1 arah atau 2 arah.

$$L_n = \frac{L_y}{L_x}$$

Keterangan :

$L_n$  = Jarak bersih arah memanjang yang diukur dari muka tumpuan ke muka tumpuan lainnya.

$L_y$  = Bentang pada arah yang lebih panjang.

$L_x$  = Bentang pada arah yang lebih pendek.

- b. Menentukan tebal pelat lantai

**Tabel 2.10** Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2019)

- c. Pelat nonprategang yang ditopang balok pada seluruh sisi, ketebalan total pelat (h) wajib memenuhi ketentuan batas minimum sebagaimana tercantum dalam tabel berikut :

### 2.3.3 Perencanaan Kolom

Ketentuan pada SNI 2847:2019 mengenai perencanaan kolom dilakukan dengan menggunakan metode dari pembebanan. Dari hasil analisis tersebut, diperoleh dimensi kolom rencana sebagai berikut:

$$\frac{I \text{ kolom}}{L \text{ kolom}} \geq \frac{I \text{ balok}}{L \text{ balok}}$$

Keterangan :

$$\text{Inersia kolom} = \left( \frac{1}{12} \times b \times h^3 \right)$$

$$\text{Inersia balok} = \left( \frac{1}{12} \times b \times h^3 \right)$$

h kolom = Total tinggi dari kolom

h balok = Total tinggi dari balok

## 2.4 Penulangan Struktur

Menurut ketentuan dalam Badan Standardisasi Nasional melalui SNI 2847:2019, pemakaian tulangan baja berprofil ulir lebih diutamakan dalam konstruksi beton bertulang. Namun demikian, pada kondisi tertentu seperti pada tulangan polos yang masih diizinkan jika menggunakan tulangan spiral atau elemen baja yang diberi prategang. Sementara tulangan polos lebih sering digunakan sebagai begel atau elemen pengikat, tulangan ulir biasanya digunakan sebagai tulangan memanjang (longitudinal).

### 2.4.1 Penulangan Balok

Luas penampang minimum tulangan lentur pada balok harus direncanakan sesuai ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019, pasal 9.6.1.2. Dimana ketentuan tersebut menyatakan bahwa nilai tulangan minimum yang digunakan harus memenuhi nilai yang lebih besar dari hasil perhitungan berdasarkan dua persamaan yang telah ditetapkan.

Adapun persyaratan gaya dan geometri pada penulangan balok antara lain :

- a. Syarat Gaya Aksial =  $P_u \leq 0.1 A_g f_c'$
- b. Syarat Tinggi Efektif =  $L_n \geq 4d$
- c. Syarat Lebar 1 =  $b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$
- d. Syarat Lebar 2 =  $b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1)$

#### 1. Penulangan Lentur Balok

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.2, luas tulangan minimum pada daerah tumpuan untuk momen positif harus sekurang-kurangnya sebesar 0,5 kali luas tulangan pada tumpuan untuk momen negatif. Selain itu, luas tulangan minimum pada daerah lapangan untuk momen negatif disyaratkan tidak kurang dari 0,25 kali luas tulangan yang berkaitan dengan momen maksimum pada lapangan untuk momen positif. Adapun langkah untuk menentukan penulangan lentur balok yang mana  $c_1$  adalah sisi tegak lurus balok dan  $c_2$  sisi sejajar lebar balok, antara lain :

- a. Jarak bersih :

$$\frac{(b - 2c_c - 2d_s - n * d_b)}{n - 1}$$

Jarak Bersih  $\geq d_b$  dan 25 mm

- b. As pasang :

$$n * \pi / 4 * d_b^2$$

$$A_{s \text{ min},1} = \frac{(f_c')^{0.5}}{(4 * f_y) * b * d}$$

$$A_{s \text{ min},2} = \frac{1.4}{(4 * f_y) * b * d}$$

Cek As min : As Pasang  $\geq$  As min

- c. Rasio tulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

$$\rho_{\text{max},1} = 0.75 \rho_b$$

$$\rho_{\text{max},2} = 2.5\%$$

Cek As max :  $\rho \leq \rho_{\text{max}}$

Dimana, As didapat dari pengolahan perhitungan momen

$$a = \frac{As \cdot fy}{(0.85 \cdot fc' \cdot b)}$$

d. Pengecekan Kapasitas

$$M_n = As \cdot fy \cdot (d - a/2)$$

$$\Phi = 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \cdot 0.25 \leq 0.9$$

$$\phi M_n = \phi \cdot M_n$$

Cek kapasitas :  $\phi M_n > M_u$

$$As \text{ perlu : } \frac{M_u}{[fy \cdot (d - a/2)]}$$

2. Penulangan Transversal Balok

a. Menentukan nilai  $V_c$  dan  $V_s$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d$$

Gaya geser minimum :

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times bw \times d$$

$$V_{s_{max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d$$

$$V_s = \frac{Av \times fy \times d}{s}$$

Luasan tulangan geser minimum :

$$Av_{min} = \frac{bw \times s}{3 \times fy}$$

b. Perhitungan tulangan geser dilakukan berdasarkan kondisi yang ditinjau

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

Maka, tidak memerlukan tulangan geser

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

Diperlukan tulangan geser :

$$Av_{min} = \frac{bw \times S}{3 \times fy}$$

$$Vs_{min} = 1/3 \times bw \times d$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\varphi \times V_c < V_u \leq \varphi(V_c + V_{smin})$$

Diperlukan tulangan geser :

$$A_{vmin} = \frac{b_w \times S}{3 \times f_y}$$

$$V_{smin} = 13 \times b_w \times d$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\varphi(V_c + V_{smin}) < V_u$$

Diperlukan tulangan geser :

$$\varphi \times V_{sperlu} = V_u - \varphi \times V_c$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times f}{S}$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$\varphi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d) < V_u$$

$$\leq \varphi (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d)$$

Diperlukan tulangan geser :

$$\varphi \times V_{sperlu} = V_u - \varphi \times V_c$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times f}{S}$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

#### 2.4.2 Penulangan Pelat Lantai

1. Menetapkan ketentuan awal penulangan pelat, yang meliputi batas jarak maksimum tulangan serta persyaratan luas tulangan minimum berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019:

$$S_{max} = 2h \leq 450 \text{ mm}$$

2. Tinggi efektif penampang pelat dalam analisis lentur dengan persamaan:

$$d = h - c_c - d_b - \frac{d_b}{2}$$

3. Menentukan jumlah batang tulangan dan luas tulangan terpasang pada setiap 1 meter lebar pelat menggunakan hubungan:

$$n = \frac{b}{s}$$

$$A_s = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

4. Kapasitas lentur penampang, dengan terlebih dahulu menghitung tinggi blok tekan beton kemudian momen nominal penampang:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

5. Pengecekan kekuatan penampang dengan membandingkan kapasitas momen rencana terhadap momen ultimit hasil analisis struktur menggunakan ETABS:

$$\phi M_n < M_u$$

### 2.4.3 Penulangan Kolom

Pada perencanaan penulangan kolom, terdapat persyaratan kekuatan (gaya) dan geometri yang harus dipenuhi sebagai dasar evaluasi untuk menentukan apakah penulangan yang direncanakan telah sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

$$\text{Syarat Gaya Aksial} = P_u \leq 0.1 A_g f'_c$$

$$\text{Syarat Sisi Terpendek} = b \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat Rasio Dimensi Penampang} = b/h \geq 0.4$$

1. Perhitungan *Strong Column – Weak Beam (SCWB)*

Pengecekan terhadap gaya dalam aksial lentur :

$$A_s = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$p = \frac{A_s}{b \times h}$$

$$1\% \leq p \leq 6\%$$

Pengecekan SCWB :

$$2M_{nc} > 1,2 (M_n^- + M_n^+)$$

Panjang Zona Sendi Plastis :

$$l_o = \text{maksimum} (h, L_n/6, 450 \text{ mm})$$

Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis :

$$A_{sh} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

Kekangan :

$$b_c = b - 2c_c$$

$$h_c = h - 2c_c$$

Sumbu kuat dan lemah :

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \frac{h_c f_c}{f_{yv}} \times \frac{A_g}{A_{ch}} - 1$$

Kuat geser zona sendi plastis :

$$V_u = L_n 2M_{pr}$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \sqrt{f_c'} h d$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yv} d}$$

$$\left( \frac{A_v}{s} \right)_{min} = 0,062 \frac{\sqrt{f_c'} h}{f_{yv}}$$

$$\left( \frac{A_v}{s} \right)_{min} = 0,35 \frac{h}{f_{yv}}$$

$$\frac{A_v}{s} \geq \left( \frac{A_v}{s} \right)_{min}$$

Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis:

$$A_v = n \times 4\pi \times d_s^2$$

$$s_{max} = \text{minimum}(6d_b, 150 \text{ mm})$$

$$s \leq s_{max}$$

## 2. Perhitungan Manual

Momen dan gaya geser rencana :

$$ds = ts + \phi + 2D$$

$$e_0 = \frac{M_u}{P_u}$$

$$e_{min} = 15 + 0,03h$$

$$A_g = b \times h$$

$$P_u = 0,1f'_c A_g$$

$$\phi = 0,65$$

$$\frac{P_u}{\phi A_g 0,85f'_c}$$

$$\left( \frac{P_u}{\phi A_g 0,85f'_c} \right) \left( \frac{e_0}{h} \right)$$

$$\frac{d'}{h}$$

$$r = b \times r$$

$$A_{st} = r \times A_g$$

$$n = \frac{A_s}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

$$s = h - 2ds$$

$$\phi P_n = 0,8\phi [0,85f'_c (A_g - A_s) + f_y A_s]$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

Pemeriksaan lebar balok :

$$Sb = \frac{b - 2Cc - 2Ds - nD}{n - 1}$$

Tulangan geser :

$$V_c = 6f_c'bd$$

$$\phi V_c = \phi \times V_c$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{\phi V_s}{\phi}$$

$$A_v = \frac{b \times s}{3f_y}$$

$$s_{max} = \frac{d}{2}$$

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \phi^2$$

$$\frac{A_v}{s_{perlu}} < \frac{A_v}{s_{pakai}}$$

## 2.5 Fondasi

Secara umum, fondasi adalah struktur bagian bawah dan memiliki berperan penting dalam penyaluran beban-beban menuju tanah pendukung. Berdasarkan kedalaman serta mekanisme penyaluran bebannya, fondasi dapat dikategorikan kedalam fondasi dalam dan fondasi dangkal berdasarkan kriterianya masing masing. Dimana pada fondasi dangkal berfungsi untuk menahan dan meneruskan seluruh pembebanan struktur secara langsung kedalam lapisan tanah yang dekat dengan permukaan, sedangkan fondasi dalam direncanakan untuk memikul dalam penyaluran beban bangunan menuju lapisan tanah yang lebih kuat dan terletak di kedalaman tertentu di bawah permukaan tanah (Darmawan et al., 2023).

### 2.5.1 Fondasi Tiang Pancang

Salah satu jenis fondasi yang banyak digunakan pada konstruksi bangunan adalah fondasi tiang pancang, yaitu elemen berbentuk batang panjang dan ramping yang berfungsi mengalihkan beban struktur dari lapisan tanah dengan daya dukung rendah ke lapisan tanah yang memiliki kapasitas daya dukung lebih tinggi (Kasus et al., n.d.).

- a. Perhitungan Daya Dukung Ultimate

$$\text{Dimensi pancang (A)} = s \times s$$

$$\text{Volume pancang (V)} = A \times \text{panjang tiang (L)}$$

$$\text{Keliling pancang (K)} = 4 \times s$$

$$Q_u = \frac{qc \times A}{3} \times \frac{Tf \times k}{5}$$

- b. Perhitungan Daya Dukung Netto per 1 Tiang Pancang

$$W = V \times \gamma \text{ beton}$$

$$Q_{nett} = Q_u - W$$

c. Perhitungan Kebutuhan Fondasi

$$n = p/Q_{nett}$$

### 2.5.2 Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Tiang

Daya dukung kelompok tiang tidak dapat dihitung secara langsung dari perkalian antara daya dukung satu tiang dengan jumlah tiang apabila jarak antar tiang dalam grup tidak memenuhi ketentuan minimum. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh efisiensi grup tiang yang nilainya kurang dari satu. Oleh sebab itu, perhitungan daya dukung total grup tiang dinyatakan sebagai berikut:

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

Keterangan :

Eg : Efisiensi kelompok tiang

m : Jumlah tiang pada deret baris

n : Jumlah tiang pada deret kolom

s : Jarak antar as tiang

D : Diameter tiang

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan mempertimbangkan daya dukung izin dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_{ijin} = n \times Eff \times Q_{nett}$$

Kontrol Daya Dukung Ijin :

$$P < Q_{ijin}$$

## 2.6 Volume Pekerjaan Struktur

Perhitungan kuantitas pekerjaan memiliki peran penting pada suatu proyek konstruksi. Proses ini memiliki tujuan dalam menentukan sekaligus memverifikasi ruang lingkup pekerjaan yang akan dicantumkan dalam dokumen *Bill of Quantity* (BoQ) yang nantinya digunakan pada tahap tender (Aulya Reista & Ilham, 2022). Sebagai bagian dari dokumen lelang, perhitungan volume harus dilaksanakan secara teliti, sistematis, dan mengacu pada gambar perencanaan yang telah disahkan,

guna meminimalkan potensi kesalahan yang dapat menimbulkan perbedaan penafsiran, perselisihan kontraktual, maupun kerugian bagi pihak kontraktor.

Penggunaan *Building Information Modeling* atau dikenal BIM pada proses perhitungan volume pekerjaan mampu meningkatkan efisiensi hasil perhitungan. Hal ini didukung oleh kemampuan perangkat lunak BIM, seperti Autodesk Revit, yang dapat secara otomatis menghitung kuantitas material berdasarkan model tiga dimensi yang terintegrasi. Selain itu, *software* tersebut juga memiliki fitur pengelolaan data proyek yang terstruktur, sehingga membantu pengguna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap keseluruhan proyek yang sedang dikerjakan.

### **2.7 Rancangan Anggaran Biaya (RAB)**

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan dari total seluruh biaya yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan proyek konstruksi dari awal keberlangsungan proyek tersebut hingga pada tahap akhir proses konstruksi, termasuk dalam bahan, biaya tenaga kerja, alat, dan adanya pengeluaran lain yang berkaitan dengan pelaksanaan pekerjaan. Dokumen ini memuat rincian volume pekerjaan, harga satuan, serta total biaya yang diperlukan sehingga menjadi dasar perencanaan anggaran dan penawaran dalam proses tender. Penyusunan RAB harus dilakukan secara teliti dan berdasarkan dokumen perencanaan yang lengkap agar estimasi biaya yang dihasilkan wajar dan dapat dipertanggungjawabkan dalam pengelolaan anggaran proyek konstruksi. RAB juga membantu kontraktor dalam merencanakan alokasi biaya dan pemilik proyek dalam mengevaluasi tawaran kontraktor serta meminimalkan risiko pembengkakan biaya selama pelaksanaan proyek (Graciella et al., 2024).

### **2.8 Penjadwalan**

Perencanaan menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) pada dasarnya serupa dengan metode konvensional, namun memiliki keunggulan dalam penentuan kuantitas pekerjaan secara otomatis sehingga mempermudah penyusunan rencana dan perhitungan durasi pekerjaan. Integrasi model 3D dengan penjadwalan (*4D BIM*), simulasi konstruksi, serta deteksi konflik membuat proses

perencanaan lebih efisien dan terkoordinasi. Penerapan BIM juga membantu meminimalkan risiko keterlambatan, meningkatkan transparansi, serta mendukung pengendalian biaya proyek (Widiawan & Hidayat, 2025).