

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Building Information Modelling* (BIM)

Building Information Modelling (BIM) sebagai bagian dari strategi digitalisasi yang saat ini mulai menjamur dalam industri konstruksi. Penggunaannya menjadi bagian krusial dalam mendukung kinerja pembangunan konstruksi yang efektif dan efisien (Hardianto, 2024). Rosmyanto (2022) menjelaskan bahwa implementasi *Building Information Modelling* (BIM) menawarkan berbagai kelebihan, diantaranya sebagai berikut.

- a. Kemudahan dalam mengidentifikasi masalah antar bagian struktur, arsitektur, dan mekanikal, elektrikal, serta *plumbing*.
- b. Evaluasi detail proyek dapat dilakukan secara lebih cepat sebelum proses pelaksanaan dikerjakan.
- c. Tingkat akurasi yang tinggi terhadap perencanaan volume pekerjaan sesuai keadaan proyek lapangan.

Meskipun menawarkan berbagai kelebihan, pengimplementasian *Building Information Modelling* (BIM) di Indonesia ini masih terbatas dilakukan pada proyek konstruksi berskala besar saja (Pantiga, 2021). Hal ini dilatar belakangi karena adanya berbagai tantangan yang harus dihadapi, sebagaimana tercantun pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Tantangan BIM di Indonesia

Aspek	Tantangan BIM Indonesia
Teknologi	<ol style="list-style-type: none">a. Modal yang besarb. Perlunya penyediaan <i>hardware</i> dengan spesifikasi tinggi
Proses	<ol style="list-style-type: none">a. Masih minimnya jumlah tenaga ahlib. Budaya kerja yang masih di tahap transisic. Keterbatasan pemahamand. Ketidaksesuaian <i>software</i>e. Rumitnya prosedur operasional yang digunakan

Aspek	Tantangan BIM Indonesia
	<ul style="list-style-type: none"> f. Minimnya keterlibatan manajemen terhadap pemberian dukungan, pelatihan, serta pengembangan g. Masih rancunya sasaran BIM yang ditetapkan oleh perusahaan h. Hambatan komunikasi antar divisi internal pada organisasi
Protokol	<ul style="list-style-type: none"> a. Tidak terdapat payung hukum ataupun standarisasi secara jelas b. Penerapan BIM yang tidak secara menyeluruh oleh pelaku konstruksi dalam menjalankan manajemen proyek c. Belum jelasnya rencana mutu yang mempersulit penerapan dalam proyek d. Kerumitan pekerjaan yang menjadi tantangan pengguna BIM manajemen proyek

Sumber : Pantiga (2021)

Building Information Modelling (BIM) sendiri diklasifikasikan dalam beberapa kategori, mulai dari 2D hingga 8D yang masing – masing memiliki fungsi dan perannya masing – masing (Kementerian PUPR, 2018). Salah satu kategori yang digunakan dalam desain perencanaan bangunan, yaitu BIM 5D. Kategori BIM ini memiliki kelebihan dalam mengintegrasikan desain 3D proyek dengan rencana anggaran biaya dan penjadwalan proyek secara *real time*. Dengan demikian, perencanaan gedung yang dibuat dapat mempunyai tingkat akurasi yang lebih tinggi dari penerapan metode konvensional.

2.2. Aplikasi Pendukung *Building Information Modelling*

Dalam penerapan *Building Information Modelling* (BIM) 5D pada perencanaan Gedung PCNU Kota Semarang digunakan aplikasi pendukung, baik yang berperan untuk analisis keamanan struktur, desain penulangan, visualisasi 3D, perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB), perencanaan penjadwalan proyek, hingga integrasi konsep BIM 5D. Adapun *software* yang digunakan adalah sebagai berikut.

2.2.1. ETABS

ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) merupakan *software* yang dapat dimanfaatkan dalam analisis struktur desain bangunan. Menurut Husein & Darwis (2024), *ETABS* merupakan *software* yang mendukung

pemeriksaan serta perencanaan struktur bangunan, dengan kemampuan pemodelan struktur tiga dimensi secara komprehensif. Pada penelitian ini digunakan *ETABS* sebagai *software* analisis dan perencanaan struktur karena lebih optimal dalam memodelkan struktur bangunan gedung yang dilengkapi dengan sistem dinding geser (*shear wall*). Pada *ETABS* tersedia fitur khusus untuk memodelkan dan menganalisis perilaku *shear wall* secara langsung, sehingga proses dan hasil analisis struktur lebih efisien dan akurat jika dibandingkan dengan *software* analisis struktur lainnya. Selain itu, *ETABS* ini juga memiliki keunggulan lebih dibandingkan *software* analisis struktur lainnya, salah satunya *SAP2000*. Adapun keunggulan tersebut diantaranya sebagai berikut.

1. *ETABS* dapat mengidentifikasi elemen gedung secara otomatis, seperti *story* (lantai), *column* (kolom), *beam* (balok), dan *shear wall* (dinding geser). Sebaliknya, pada *software* *SAP2000* elemen gedung hanya diasumsikan sebagai kumpulan garis dan titik.
2. *ETABS* memiliki kemampuan dalam mengintegrasikan gaya dalam pada struktur dinding geser (*shear wall*) secara otomatis melalui fitur *Pier Label* dan *Spandrel Label*. Berbeda dengan *SAP2000* yang masih memerlukan analisis perhitungan secara manual.
3. *ETABS* mempunyai fitur yang dapat secara otomatis mendistribusikan beban gempa berdasarkan masa lantai dan melakukan pengecekan simpangan antar lantai (*story drift*) sesuai dengan standar kode desain yang dipakai. Sementara pada *SAP2000*, analisis tersebut masih perlu dilakukan dengan perhitungan secara manual.
4. *ETABS* dilengkapi dengan fitur *Similar Story* dan *Replicating Stories* sehingga pemodelan struktur dapat dilakukan secara lebih efisien dibandingkan menggunakan *software* *SAP2000*.

2.2.2. SPColumn

Software structural point berupa *SPColumn* merupakan alat bantu untuk menganalisis perilaku dan kekuatan sebuah struktur, utamanya struktur kolom. Wirachma dan Setiyarto (2021) menyebutkan implementasi *software* ini memiliki

kesinambungan dengan hasil analisis struktur pada *software* pemodelan desain. Integrasi antara analisis struktur pada *ETABS* dan *SPColumn* memberikan hasil pemodelan struktur yang lebih detail dan akurat utamanya berkaitan dengan perencanaan penulangan struktur kolom.

2.2.3. Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah *software* pengembangan dari *Autodesk* guna menjawab kebutuhan terhadap pembuatan desain bangunan (Ferry & Indrastuti, 2020, 8). *Autodesk Revit* menawarkan integrasi antara model arsitektural, struktural, dan mekanikal, elektrik, serta *plumbing* (MEP). Integrasi tersebut memungkinkan para pelaku konstruksi dapat bekerja secara lebih kolaboratif dan sinkron sehingga proses konstruksi mampu dikerjakan dengan efektif dan efisien terhadap biaya dan waktu, serta ketepatan terhadap mutu yang direncanakan (Reista et al., 2022, 14).

Dalam bidang konstruksi yang terintegrasi dengan *Building Information Modelling*, *Autodesk Revit* dapat mendukung beberapa proses pekerjaan, diantaranya sebagai berikut.

- a. Mempresentasikan gambar kerja 2D dan mempermudah perancangan struktur bangunan dengan model 3D (Afandi, 2022).
- b. Dapat digunakan dalam perhitungan rencana anggaran biaya dan *quantity take off* (Novita & Pangestuti, 2021, 28).
- c. Menurut Sidiq, dkk (2023) *Autodesk Revit* dapat membantu dalam membuat perencanaan pemodelan serta perhitungan volume bangunan secara lebih mudah.

2.2.4. Microsoft Excel

Microsoft Excel merupakan *software* yang dikembangkan oleh *Microsoft Office* dalam bentuk program aplikasi spreadsheet sebagai pengolah data yang berbentuk baris dan kolom (Wirawan Adi, 2023). Dalam perencanaan struktur sebuah bangunan, *software Microsoft Excel* ini dapat dipergunakan untuk melakukan analisis perencanaan model struktur, pembebanan, maupun analisis gaya dalam

hasil dari pemodelan struktur tersebut. Selain itu, *software* ini juga digunakan dalam membantu perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

2.2.5. Microsoft Project

Microsoft Project adalah *software* yang dimanfaatkan dalam perencanaan, pemeliharaan, pengawasan serta laporan data konstruksi. Dengan adanya perangkat lunak ini memberikan kemudahan dalam manajemen proyek secara fleksibel, efektif, dan efisien (Wohon dkk., 2015, 143). Pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi berbasis *Building Information Modelling*, *Microsoft Project* berperan sebagai *software* manajemen waktu yang mendukung implelementasi BIM 4D. Menurut Irwan, dkk (2021) *Microsoft Project* adalah komponen *Microsoft Office Professional*, dengan kelebihan diantaranya.

- a. Manajemen waktu secara lebih efektif dan efisien
- b. *Rescheduling* yang lebih mudah
- c. Kemudahan penyusunan jadwal proyek dengan lebih efisien

2.2.6. Autodesk Navisworks

Autodesk Navisworks Manage merupakan *software* yang dilengkapi dengan uraian komprehensif proyek konstruksi yang membantu mengkoordinasi, menganalisis, dan mengkomunikasikan tujuan desain konstruksi yang mana dalam penerapan konsep *Building Information Modelling* (BIM), *software* ini dapat mensimulasikan uji coba serta analisis 4D serta 5D melalui penggabungan model parametrik serta jadwal dan biaya proyek (Ferry & Indrastuti, 2020, 9). Integrasi *Autodesk Navisworks* dan *Autodesk Revit* menjadikan manajemen jadwal proyek yang efisien serta akurat sesuai visualisasi 3D pada konstruksi (Christiandava, dkk, 2023). Pada penelitian ini, digunakan *Autodesk Navisworks* untuk melakukan simulasi konstruksi 4D karena mampu mengintegrasikan model 3D dari *Autodesk Revit* dengan jadwal pelaksanaan proyek dengan fitur *TimeLiner*. Fitur tersebut menghasilkan visualisasi urutan pekerjaan konstruksi secara dinamis, sehingga proses pelaksanaan dapat dianalisis dengan lebih mudah. Selain itu, *Autodesk Navisworks* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan *software* lainnya, di antaranya sebagai berikut:

1. *Autodesk Navisworks* memiliki fitur *TimeLiner* untuk menghasilkan integrasi model 3D dengan jadwal proyek dan menghasilkan video simulasi konstruksi 4D. Selain itu, fitur ini juga mendukung keterkaitan antara model, waktu, dan biaya proyek.
2. *Autodesk Navisworks* dilengkapi fitur *Clash Detection* sebagai fitur untuk mendeteksi dan mengevaluasi benturan (*clash*) antar elemen dari berbagai disiplin pekerjaan.
3. *Autodesk Navisworks* mampu menggabungkan berbagai model dari beragam *software* BIM ke dalam satu model terintegrasi (*federated model*), sehingga koordinasi antar disiplin pekerjaan dapat dilakukan dengan lebih efektif.
4. *Autodesk Navisworks* lebih sesuai digunakan untuk koordinasi model dan simulasi konstruksi 4D karena dilengkapi dengan fitur integrasi jadwal proyek (*TimeLiner*). Sementara itu, *Tekla Structures* lebih berfokus pada pemodelan dan detailing elemen struktur.
5. *Autodesk Navisworks* menghasilkan visualisasi tahapan pelaksanaan pekerjaan yang komunikatif, sehingga memudahkan proses evaluasi dan pengendalian pelaksanaan proyek.

2.3.Struktur Tahan Gempa

Pada perencanaan struktur sebuah bangunan, perlu diperhatikan kekuatannya dalam menahan beban gempa. Bangunan perlu direncanakan tidak langsung roboh apabila bencana gempa terjadi sehingga penghuni didalamnya mempunyai waktu untuk menyelamatkan diri terlebih dahulu (Salsabila & Machmoed, 2023). Salah satu metode tahan gempa yang biasa diterapkan pada bangunan tinggi adalah sistem ganda. Sistem ganda atau *dual system* adalah metode desain struktur bangunan tahan gempa yang dibuat dengan cara mengkombinasikan antara sistem rangka dan dinding geser (Pratama, dkk 2021).

Menurut Moehle dkk, (2012) yang termuat dalam penelitian Handayani, dkk (2022), disebutkan bahwa dinding geser didefinisikan sebagai elemen struktural yang didesain khusus untuk memikul gaya geser, momen, dan aksial tanpa merusak kekuatan serta kekakuannya. Dinding geser ini biasanya diaplikasikan pada bagin

inti dari sebuah bangunan gedung, utamanya pada area lift. Pengaplikasian dinding geser pada daerah tersebut berupa *core wall* atau dinding geser yang dipasang mengelilingi lift dengan bentuk menyerupai huruf U. Selain dinding geser, pada sistem ganda juga diterapkan sistem rangka. Sistem ini terbagi menjadi 3 jenis, salah satunya yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem tersebut merupakan bentuk perencanaan struktur bangunan beton bertulang yang direncanakan khusus bagi bangunan dengan daktilitas tinggi atau penuh (Hilario & Machmoed, 2023, 29). Prinsip desain yang diimplementasikan pada sistem rangka ini adalah *strong-column/weak beam*, yang mana desain kolom direncanakan lebih kuat untuk penyebaran drift secara merata sehingga mengurangi resiko terjadinya keruntuhan lokal di satu lantai (Karisoh et al., 2018, 363).

Dengan adanya kombinasi sistem rangka yang kaku dengan dinding struktural dapat meningkatkan efisiensi sistem penahan gaya lateral (Handayani, 2022). Dalam mendesain sistem ganda, sistem rangka disyaratkan harus dapat menahan paling sedikit 25% gaya seismik sebagaimana yang termuat dalam Pasal 7.2.5.1 SNI 1726-2019.

2.4. Pembebanan Struktur

2.4.1. Beban Mati

Beban mati merupakan beban permanen yang dipikul oleh struktur dan menjadi bagian yang menyatu dengan bangunan tersebut (SNI 1727:1989). Beban mati mencakup berat sendiri struktur serta elemen yang akan tetap ada, misalnya dinding, kolom, lantai, balok, dan elemen bangunan lainnya. Adapun berat beban mati menurut PPPURG 1987 disebutkan sebagaimana Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Beban Mati

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton	2.200 kg/m ³
Beton bertulang	2.400 kg/m ³

Bahan Bangunan	Berat
Kayu (kelas I)	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m ³

Sumber : PPPURG (1987)

2.4.2. Beban Hidup

Beban hidup didefinisikan sebagai beban dengan sifat bervariasi atau berubah terhadap struktur bangunan. Beban hidup meliputi berat dari benda - benda yang bekerja dalam waktu sementara di atas struktur bangunan. Contohnya manusia, lemari, mesin, dan barang - barang lainnya yang bisa bergerak atau diubah posisinya. Adapun besarnya beban hidup menurut SNI 1727:2020 dijelaskan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Beban Hidup pada Lantai Gedung

Keterangan	Beban Merata (kN/m ²)	Reduksi diizinkan? (No. Pasal)
1. Apartemen		
a. Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)
b. Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)
c. Gudang senjata dan ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)
2. Ruang Pertemuan		
a. Kursi tetap	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)
b. Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
c. Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
d. Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
e. Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
f. Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)
g. Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
3. Balkon dan dek	1,5 dari beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak	Ya (4.7.2)

Keterangan	Beban Merata (kN/m ²)	Reduksi diizinkan? (No. Pasal)
	melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
4. Jalur akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
5. Koridor		
a. Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)
b. Lantai lain	Mengikuti ketentuan pelayanan hunian, kecuali ditentukan lain	Ya (4.7.2)
6. Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
7. Jalur penyelamatan kebakaran		
a. Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
8. Garasi/Parkir (Lihat pasal 4.10)		
a. Mobil penumpang	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)
b. Truk dan bus	Lihat 4.10.2	-
9. Pegangan tangga dan pagar pengaman		
	Lihat 4.5.1	-
10. Helipad (Lihat pasal 4.11)		
a. Helikopter dengan berat lepas landas 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)
b. Helikopter dengan berat lepas landas 3.000 lb (13,35 kN) atau lebih	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)
11. Rumah Sakit		
a. Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)
b. Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
c. Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)
12. Hotel (lihat rumah tinggal)		
13. Perpustakaan		
a. Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)
b. Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)
c. Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)
14. Pabrik		
a. Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)
b. Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)
15. Gedung Perkantoran		
Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat sesuai dengan perkiraan hunian		
a. Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)
b. Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)
c. Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)
16. Lembaga hukum		
a. Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
b. Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)
17. Tempat rekreasi		
a. Tempat <i>bowling</i> , <i>billiard</i> , dan sejenis lainnya	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)
b. Ruang dansa dan <i>ballroom</i>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
c. Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
18. Rumah tinggal (Hunian satu dan dua keluarga)		
a. Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)
b. Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)

Keterangan	Beban Merata (kN/m ²)	Reduksi diizinkan? (No. Pasal)
c. Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,14)	Ya (4.7.2)
d. Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
e. Ruang pribadi dan koridor	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
f. Ruang public	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)
g. Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)
19. Atap		
a. Atap datar, berbubung dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)
b. Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan kategori penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)
c. Atap tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)
Atap vegetatif dan lansekap		
d. Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)
e. Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)
f. Atap penggunaan lain	Sama dengan kategori penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)
Awning dan kanopi		
g. Atap konstruksi <i>fabric</i> dilengkapi struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)
h. Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24) sesuai area tributari dari atap yang dilengkapi komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)
i. Semua konstruksi lain dengan komponen struktur atap utama yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja	20 (0,96)	Ya (4.8.2)
j. Titik panel Tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap di atas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaannya dan garasi bengkel	-	-
20. Sekolah		
a. Ruang kelas	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
b. Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)
c. Koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)
21. Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan jalan/lahan untuk truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)
22. Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)
a. Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)
23. Gudang di atas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)
24. Gudang penyimpanan dan pekerja (dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)		
a. Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)
b. Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)
25. Toko (Eceran)		
a. Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)

Keterangan	Beban Merata (kN/m ²)	Reduksi diizinkan? (No. Pasal)
b. Lantai diatasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)
c. Grosir di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)
26. Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)
27. Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)

Sumber : Tabel 4.3.1 SNI 1727 (2020)

2.4.3. Beban Gempa

Dalam menentukan nilai besaran beban seismik yang bekerja terhadap struktur bangunan, digunakan acuan SNI 1726-2019 yang menjelaskan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung. Adapun metode perencanaan beban seismik/gempa tersebut adalah sebagai berikut.

1. Faktor Keutamaan Gempa dengan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Menurut SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 4.1.2, kategori risiko bangunan gedung dan non gedung dalam menerima beban seismik diklasifikasikan berdasarkan fungsi atau peruntukan dari struktur bangunan tersebut. Adapun pembagiannya dijelaskan pada Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Kategori Risiko Struktur Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung yang memiliki tingkat resiko rendah terhadap jiwa manusia apabila kegagalan struktur terjadi, seperti fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, perikanan, fasilitas sementara, gudang penyimpanan, rumah jaga, dan struktur kecil lainnya.	I
Struktur bangunan gedung yang memiliki tingkat risiko lebih tinggi dari kategori risiko I, seperti perumahan, rumah toko dan rumah kantor, pasar, gedung perkantoran, apartemen atau rumah susun, mall, bangunan industri, fasilitas manufaktur, dan pabrik.	II
Gedung yang memiliki tingkat risiko tinggi pada jiwa manusia dan berpotensi menyebabkan dampak besar terhadap perekonomian dan/atau menyebabkan gangguan secara massal terhadap kehidupan sehari – hari masyarakat apabila terjadi kegagalan struktur, seperti bioskop, gedung pertemuan, stadion, fasilitas kesehatan yang tidak dilengkapi dengan unit bedah dan gawat darurat, fasilitas penitipan anak, penjara, panti jompo, pusat pembangkit listrik biasa, fasilitas penanganan air dan limbah, serta pusat telekomunikasi. Selain itu, fasilitas manufaktur yang mengandung bahan bakar, bahan kimia, maupun limbah yang akan menimbulkan bahaya apabila terjadi kebocoran, dikategorikan sebagai jenis bangunan yang memiliki kategori III.	III
Bangunan yang diklasifikasikan sebagai fasilitas penting, seperti bangunan – bangunan monumental, gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, rumah	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
ibadah, rumah sakit maupun fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki unit bedah dan gawat darurat, fasilitas pemadam kebakaran, garasi ambulans, kantor polisi, garasi kendaraan darurat, tempat perlindungan terhadap bencana gempa, fasilitas tanggap darurat, dan struktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi dikedadaan darurat.	

Sumber : Tabel 3 SNI 1726 (2019)

Untuk keseluruhan kategori risiko di atas, perhitungan pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sesuai dengan yang tercantum pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : Tabel 4 SNI 1726 (2019)

2. Klasifikasi Situs

Penentuan klasifikasi situs gempa berdasarkan perhitungan SPT rata – rata dibagi sebagaimana disebutkan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs

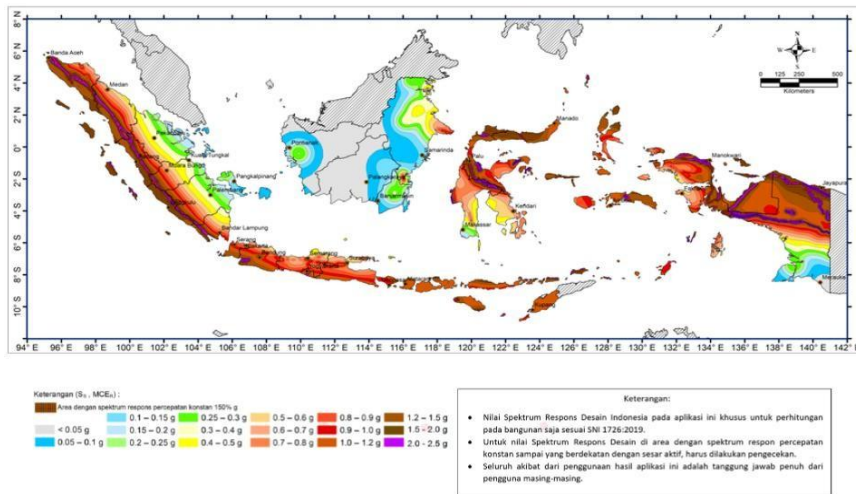
Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut. <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut. <ol style="list-style-type: none"> a. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. b. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) c. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) d. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa 		

Catatan : N/A tidak dapat dipakai

Sumber : Tabel 5 SNI 1726 (2019)

3. Koefisien Spektrum Design

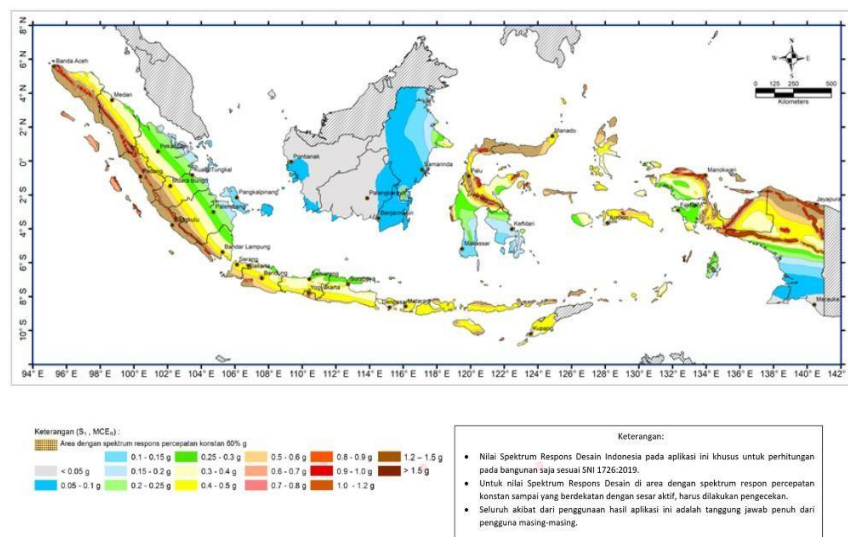
Melalui Desain Spektra milik PUPR dapat ditentukan nilai Koefisien Spektrum Design. Nilai koefisien ini terdiri dari S_s (percepatan batuan dasar periode pendek) serta S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) berupa nilai desimal. Adapun peta MCE_R sebagai dasar penentuan koefisien percepatan batuan dasar periode pendek adalah sebagaimana Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Peta MCE_R pada S_s

Sumber : Desain Spektra Kementerian PUPR (2026)

Sementara itu, untuk peta MCE_R yang digunakan sebagai dasar acuan penentuan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik adalah sebagaimana Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Peta MCE_R pada S_1

Sumber : Desain Spektra Kementerian PUPR (2026)

4. Koefisien Situs

Parameter respons spektral percepatan gempa ditentukan oleh koefisien situs. Guna mengorelasikan percepatan getaran saat periode pendek (F_a) serta percepatan getaran saat periode 1 detik (F_v), diperlukan adanya faktor amplifikasi seismik. Adapun nilai koefisien situs periode pendek disebutkan sebagaimana Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Koefisien Situs Periode Pendek

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,50$
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
SF	SS ^(a)					

Sumber : SNI 1726 (2019)

Sementara itu, nilai koefisien situs periode 1 detik disebutkan sebagaimana Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Kelas Situs Periode 1 Detik

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,50$
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)

Catatan :

SS^(a) : Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs – spesifik.

Menentukan nilai parameter percepatan spektral desain periode pendek (S_{Ds}) sekaligus periode 1 detik (S_{D1}), dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

5. Perhitungan Periode Transisi

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan waktu yang diperlukan dalam satu siklus getaran terganggu sampai dapat kembali pada posisi statis. Periode transisi dapat dihitung melalui rumus berikut.

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

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

6. Kategori Desain Seismik

Kategori ini menjadi variabel guna membuktikan struktur sudah sesuai dengan syarat gempa yang diperkirakan. Dalam merencanakan struktur, penentuan kategori desain seismik perlu memperhatikan nilai parameter respon spektral percepatan desain S_{DS} , S_{D1} , dan kategori risiko. Adapun kategori desain seismik berdasarkan respons parameter percepatan periode pendek disebutkan dalam Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Sumber : SNI 1726 (2019)

Sementara itu, kategori desain seismik untuk parameter respons percepatan periode 1 detik disebutkan sebagaimana Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I, 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)

7. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik digunakan untuk menentukan koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (C_d), faktor pembesaran defleksi (Ω_0), dan faktor batasan tinggi struktur. Koefisien tersebut ditentukan sebagaimana Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2. 11 Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, H_u (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{5h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12'	12'	12'
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2½	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1½	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3½	2	3½	TB	TB	10'	10'	TI'
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{5h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12'	12'	12'
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran 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
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
C. Sistem rangka pemikul momen								
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 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	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 ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
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 ^{o,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^o	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

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran 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
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^p	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{q,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^q	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^q	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI'	TI'	TI'
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ⁿ	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726 (2019)

8. Periode Getar “T” Gedung

Nilai periode ini didapat melalui data analisis karakteristik struktural serta deformasi elemen pemikul. Nilai T ini harus kurang dari koefisien C_v sebagaimana yang tercantum pada Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2. 12 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 Detik, S_{D1}	Koefisien C_v
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726 (2019)

Nilai T_a dengan satuan detik dapat dihitung melalui rumus berikut.

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan

h_x = elevasi struktur (m) dengan C_t dan x diperoleh dari Tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

Sumber : SNI 1726 (2019)

2.5.Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1726:2019, perencanaan terhadap struktur dan komponen pondasi harus sama dengan kuat rencana ataupun lebih karena adanya beban terfaktor melalui kombinasi berikut ini.

1. $1,4D$ (1)
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$ (2)
3. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$ (3)
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$ (4)
5. $0,9D + 1,0W$ (5)
6. $1,2D + E_v + E_h + L$ (6)
7. $0,9D - E_v + E_h$ (7)
8. $1,0D + 0,7E_v + 0,7E_h$ (8)
9. $1,0D + 0,525E_v + 0,525E_h + 0,75L$ (9)
10. $0,6D - 0,7E_v + 0,7E_h$ (10)

Keterangan:

- D = *Dead Load* (Beban mati)
- L = *Live Load* (Beban hidup)
- L_r = *Live Roof* (Beban hidup pada atap)
- R = *Rain Load* (Beban air hujan)
- W = *Wind Load* (Beban angin)
- E_v = *Earthquake* (Beban gempa arah vertikal)
- E_h = *Earthquake* (Beban gempa arah horizontal)

2.6.Preliminary Design

2.6.1.Perencanaan Balok

Balok merupakan komponen horizontal struktur utama memiliki peran dalam mendistribusikan beban ke kolom, serta sebagai penopang gaya geser dan momen lentur. Di samping itu, balok menjadi penghubung antar kolom agar bentuk dan posisinya tetap terjaga (Ramadhan, 2020). Perencanaan struktur ini mengacu pada pedoman yang tertera dalam SNI 2847-2019. Adapun tinggi balok dapat direncanakan dengan menyesuaikan kondisi peletakannya sebagaimana Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Tinggi Minimum Balok Non Prategang

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

Sumber : SNI 2847 (2019)

Perencanaan tinggi balok di atas dapat diaplikasikan pada jenis beton normal yang dilengkapi baja tulangan bermutu 420 MPa. Apabila terdapat kondisi selain pada tabel, nilai minimum h perlu disesuaikan berdasarkan ketentuan berikut.

1. Nilai persamaan dalam Tabel 2.15 perlu dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$ untuk nilai f_y tulangan lebih dari 420 Mpa
2. Persamaan dalam Tabel 2.15 perlu dikalikan dengan nilai terbesar dari 1,65 – 0,0003 w_c atau 1,09 apabila balok non prategang dibuat dengan beton ringan yang nilai w_c -nya antara 1440 hingga 1840 kg/m³,
3. Koefisien modifikasi yang disebutkan pada point 2 harus digunakan apabila balok komposit non prategang dibuat dari penggabungan beton ringan dan normal yang disangga saat konstruksi dan beton ringan pada kondisi tertekan.

Menurut SNI 2847 tahun 2019, perencanaan balok dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus berlaku berbagai persyaratan sebagaimana berikut.

1. Syarat batasan balok adalah sebagai berikut.
 - a. Bentang bersih (l_n) > 4d.
 - b. Lebar penampang $b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm.

- c. Proyeksi lebar balok yang melebihi lebar kolom penumpu kurang dari c_2 dan $0,75c_1$ disetiap sisi kolom.
2. Kebutuhan tulangan lentur balok mempunyai minimal 2 tulangan secara menerus pada area atas dan bawah penampang.
3. Sengkang pengekang pertama harus didesain < 50 mm dari muka kolom penumpu dengan spasi sengkang kurang dari nilai berikut.
 - a. $d/4$
 - b. 6 kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
 - c. 150 mm
 - d. Di luar zona sendi plastis, jarak sengkang yang diizinkan pada sepanjang bentang balok adalah $\leq d/2$.

2.6.2. Perencanaan Kolom

Kolom adalah komponen struktural yang berperan dalam menopang beban aksial sekaligus meneruskan beban dari balok maupun beban bangunan ke struktur di bawahnya dan juga ke pondasi (Tampanguma, dkk, 2023). Dalam mendesain kolom untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1 sebagai acuan mengenai batasan dimensi kolom, dimana kolom disyaratkan memenuhi ketentuan diantaranya.

- a. Ukuran penampang minimum yang diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri lebih besar dari 300 mm.
- b. Nilai rasio ukuran penampang minimum dengan ukuran sisi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

2.6.3. Perencanaan Pelat

Pelat lantai merupakan struktur bangunan yang dirancang dengan dimensi dan ketebalan tertentu untuk menahan serta menyalurkan beban mati maupun beban hidup ke elemen penopangnya (Pratomo & Hudori, 2021). Pelat bersifat kaku pada posisi horizontal yang berfungsi sebagai pengaku struktur, mendukung kekuatan dan kekakuan sistem balok portal dalam sebuah gedung (Kembuan dkk, 2018). Berdasarkan SNI 2847:2019, perencanaan pelat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

1. Menentukan jenis plat satu arah atau dua arah dengan mencari nilai L_n berdasarkan persamaan berikut.

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

Dengan

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

L_y = Sisi terpanjang

L_x = Sisi terpendek

Apabila $L_n \leq 2$, dipakai plat dua arah

2. Ketebalan pelat lantai ditentukan sesuai pedoman dalam SNI 2847 tahun 2019 yang dijelaskan sebagaimana Tabel 2.15.

Tabel 2. 15 Ketebalan Minimum Pelat Solid

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	L/20
Satu ujung menerus	L/24
Kedua ujung menerus	L/28
Kantilever	L/10

Sumber : SNI 2847 (2019)

Sementara itu, ketentuan perencanaan ketebalan minimum pada pelat dua arah non prategang tanpa balok interior dijelaskan pada Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Non Prategang Tanpa Balok Interior

F_y , MPa	Tanpa drop panel			Dengan drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/40$	$L_n/40$
420	$L_n/30$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$
520	$L_n/28$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/34$	$L_n/34$

Sumber : SNI 2847 (2019)

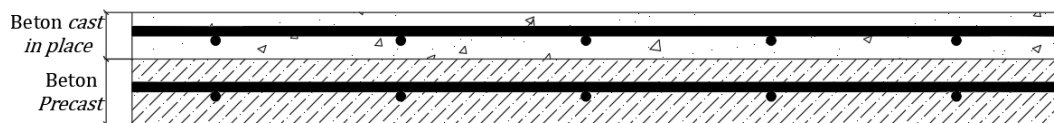
3. Pelat non prategang dengan balok membentang di antara tumpuan di seluruh sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada Tabel 2.17.

Tabel 2. 17 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Non Prategang dengan Balok Diantara Tumpuan pada Semua Sisinya

αfm	h minimum, mm	
$\alpha fm \leq 0,2$	Pasal 8.3.1.1 SNI 2847 tahun 2019 (a)	
$0,2 \leq \alpha fm \leq 2,0$	Terbesar dari	$\frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha fm - 0,2)}$ (b)
		125 (c)
$\alpha fm > 2,0$	Terbesar dari	$\frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta}$ (d)
		90 (e)

Sumber : SNI 2847 (2019)

Selain pelat dengan metode konvensional, terdapat juga jenis pelat yang menerapkan metode *half slab*. *Half slab* didefinisikan sebagai metode pelat yang mengkombinasikan elemen *precast* sebagai lapis pertama dan beton konvensional atau cor di tempat untuk lapis kedua (*topping*) (Kristiana dkk, 2022). Penambahan lapisan *topping* (*overtopping*) dengan pengecoran *in situ* menjadikan sistem ini bekerja secara komposit dan menghasilkan perilaku struktur yang mendekati sifat monolit seperti pada pelat beton konvensional (Hernanda dkk, 2024). Pemasangan pelat *precast* pada metode ini dilakukan dengan menggunakan bantuan alat berat. Adapun visualisasi sistem *half slab* digambarkan dalam Gambar 2.3 berikut.

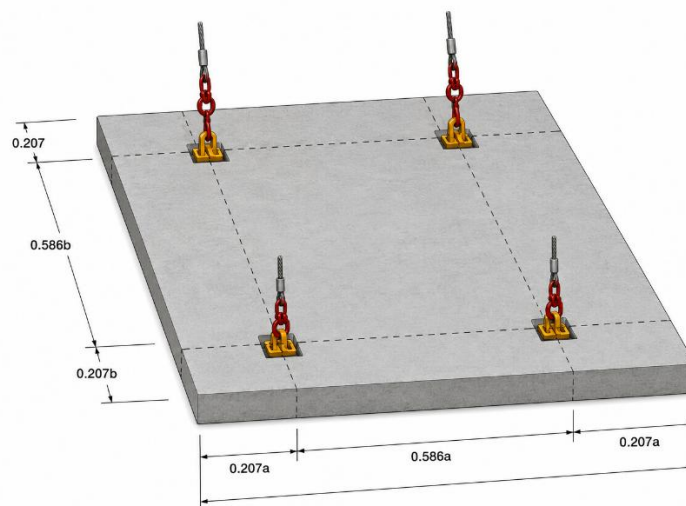


Gambar 2. 3 Sistem *Half Slab*

Penerapan sistem *half slab* memiliki beberapa keunggulan, di antaranya mempercepat dan mempermudah proses pekerjaan pelat lantai karena tidak memerlukan penggunaan bekisting atau perancah dalam jumlah besar pada pelaksanaan konstruksi. Selain itu, elemen pracetak dapat diproduksi secara massal baik di lokasi proyek maupun di pabrik beton. Panel pracetak pada sistem *half slab* berfungsi sebagai bekisting permanen pelat lantai, sehingga dalam proses pelaksanaannya tidak memerlukan penggunaan perancah untuk menopang bekisting beton. Sistem ini juga menawarkan efisiensi waktu serta kualitas sebagai

alternatif pada proyek konstruksi (Istighozah, 2024). Adapun langkah perhitungan perencanaan *precast half slab*, meliputi (Kurniawan, 2016) :

1. Penentuan dimensi
2. Perhitungan pembebanan pada tahap pengangkatan (*lifting*), sebelum komposit (*pra-composite*), serta saat komposit (*pasca-composite*)
3. Perhitungan penulangan pada tahap pengangkatan (*lifting*), sebelum komposit (*pra-composite*), serta saat komposit (*pasca-composite*)
4. Perencanaan titik pengangkatan *precast*, yang perletakkannya diasumsikan di atas sendinya sebagaimana dalam Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Asumsi Mekanisme Pengangkatan Pelat

2.6.4. Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser atau *shear wall* adalah elemen struktur vertikal yang didesain secara spesifik dari beton bertulang guna memikul gaya geser dan beban lateral akibat gempa bumi (Kusuma dkk, 2017). Berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, perencanaan dinding geser minimal memiliki ketebalan 0,04 dari tinggi atau panjang bentang yang ditopang dengan dan dengan nilai minimal 100 mm. Dinding geser juga harus direncanakan memikul gaya geser maksimal sebesar 75% dari gaya geser tingkat rencana pada setiap lantai.

2.6.5. Penulangan

2.6.5.1 Penulangan Tulangan Balok

Menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2, As min penulangan pada tulangan lentur minimum disyaratkan tidak boleh kurang dari nilai persamaan berikut.

a. $\frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} bwd$

b. $\frac{1,4}{f_y} bwd$

Rasio tulangan $\rho < 0,025$ dan minimum terdiri dari 2 batang tulangan pada area atas dan area bawah.

1. Perhitungan penulangan lentur balok

Dalam merencanakan tulangan tumpuan dan lapangan pada balok dapat digunakan rumus berikut.

$$mn = \frac{mu}{\theta}$$

$$Rn = \frac{Mu}{b \times d^2}$$

$$\rho = \frac{1}{mn} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy}$$

a. As_{min} tumpuan positif $> 0,5$ As tumpuan negative

b. As_{min} lapangan negatif $> 0,25$ As momen maksimum lapangan positif.

2. Perhitungan tulangan 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 tulangan sengkang/geser dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

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

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

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

Sementara itu, luas tulangan geser minimum dapat dicari melalui persamaan berikut.

$$A_{v_{min}} = \frac{bw \times s}{3 \times f_y}$$

b. Perhitungan kebutuhan tulangan geser berdasarkan analisis kondisi

1. Kondisi 1

Apabila $V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c$, maka tidak membutuhkan tulangan geser.

2. Kondisi 2

Apabila $0,5 \times \varphi \times V_c \leq V_u \leq \varphi \times V_c$, maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$A_{v_{min}} = \frac{bw \times s}{3 \times f_y}$$

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

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

3. Kondisi 3

Apabila $\varphi \times V_c < V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{min}})$, maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$A_{v_{min}} = \frac{bw \times s}{3 \times f_y}$$

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

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

4. Kondisi 4

Apabila $\varphi(V_c + V_{s_{min}}) < V_u$, maka diperlukan tulangan geser.

$$\varphi \times V_{s_{perlu}} = V_u - \varphi \times V_c$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

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

5. Kondisi 5

Apabila $\varphi(Vc + \frac{1}{3}\sqrt{f'c} \times bw \times d) < Vu < \varphi(Vc + \frac{2}{3}\sqrt{f'c} \times bw \times d)$

maka diperlukan tulangan geser.

$$\varphi \times V_{s_{perlu}} = Vu - \varphi \times Vc$$

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

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

2.6.5.2 Penulangan Tulangan Kolom

Adapun analisis perhitungan kebutuhan tulangan dari struktur kolom diuraikan sebagai berikut.

1. Perhitungan tulangan lentur

- a. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 dimana,

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2)\Sigma M_{ab}$$

- b. Luas tulangan $A_{st} > 0,01 A_g$ dan $< 0,06 A_g$

2. Perhitungan tulangan transversal

Panjang minimum untuk tulangan transversal yang memiliki kerapatan di daerah yang biasanya terjadi leleh lentur (ujung kolom), panjang l_0 harus lebih besar dari

- a. Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana leleh lentur dimungkinkan terjadi
- b. $\frac{1}{6}$ tinggi bersih kolom
- c. 450 mm

Sebagaimana dijelaskan dalam pasal 18.7.5.2, tulangan transversal pada kolom harus sesuai dengan ketentuan berikut.

- a. Komponen tulangan transversal berupa sengkang spiral tunggal atau spiral saling tumpang (*overlap*), sengkang pengekan bundar, atau sengkang pengekan persegi, baik menggunakan pengikat tambahan atau tidak.

- b. Pada sengkang persegi dan ikat silang, tekukan di ujung sengkang wajib mengikat batang tulangan longitudinal terluar.
- c. Ikat silang dengan diameter batang tulangan yang setara atau lebih kecil dari dimensi sengkang pengekang diperbolehkan sesuai batas yang ditentukan. Ikat silang yang dibuat berurutan harus diselang - selang ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
- d. Tulangan harus diatur sedemikian rupa sehingga spasi h_x antara tulangan - tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki - kaki sengkang pengekang tidak boleh melebihi 350 mm.
- e. Ketika $P_u > 0,3 A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekang ataupun oleh kait gempa, dan nilai h_x kurang dari 200 mm. P_u adalah gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk E.

Dalam SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal disyaratkan lebih kecil dari

- a. $\frac{1}{4} \times$ dimensi terkecil penampang kolom
- b. $6 \times$ diameter tulangan longitudinal terkecil
- c. S_0 yang dihitung dengan rumus

$$S_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$$

Nilai $S_0 < 150$ mm dan > 100 mm.

Jumlah tulangan transversal dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ditentukan berdasarkan Tabel 2.18.

Tabel 2. 18 Jumlah Tulangan Transversal untuk Kolom dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang Berlaku	
A _{sb} /s _b c untuk sengkang pengekok persegi	P _u ≤ 0,3 Ag f'c dan f'c ≤ 70 MPa	Terbesar antara (a) dan (b)	0,3 ($\frac{Ag}{A_{ch}} - 1$) $\frac{f'c}{f_{yt}}$ (a) 0,09 $\frac{f'c}{f_{yt}}$ (b)
	P _u > 0,3 Ag f'c atau f'c > 70 MPa	Terbesar antara (a), (b), dan (c)	0,2k _f k _n $\frac{P_u}{f_{yt}A_{ch}}$ (c)
ρ _s untuk spiral ataupun sengkang pengekok lingkaran	P _u ≤ 0,3 Ag f'c dan f'c ≤ 70 MPa	Terbesar antara (d) dan (e)	0,45 ($\frac{Ag}{A_{ch}} - 1$) $\frac{f'c}{f_{yt}}$ (d) 0,12 $\frac{f'c}{f_{yt}}$ (e)
	P _u > 0,3 Ag f'c atau f'c > 70 MPa	Terbesar antara (d), (e), dan (f)	0,35k _f $\frac{P_u}{f_{yt}A_{ch}}$ (f)

Sumber : SNI 2847 (2019)

2.6.5.3 Penulangan Tulangan Pelat

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.7.2, spasi tulangan pelat disyaratkan memenuhi persyaratan diantaranya.

1. Spasi tulangan maksimum < 2 × tebal pelat dan 450 mm pada penampang kritis.
2. Spasi tulangan maksimum < 3 × tebal pelat dan 450 pada penampang lainnya.

Adapun perencanaan kebutuhan tulangan pada pelat adalah sebagai berikut.

1. Tebal efektif penampang d

$$d = h - ts - \emptyset - 0,5\emptyset$$

Dengan

d = tebal efektif penampang pelat

h = tebal pelat

ts = tebal selimut beton

∅ = diameter tulangan

2. Nilai momen nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mu}{\theta}$$

3. Koefisien tahanan momen (R_n)

$$R_n = \frac{M_n}{(bd^2)}$$

Dimana

M_n = Momen Nominal

B = lebar

d = tinggi efektif

4. Rasio tulangan

$$M = \frac{fy}{(0,85 \times f'c)}$$

$$\rho b = \frac{(0,85 \times f'c \times \beta_1)}{fy \times 600 / (600 + fy)}$$

5. Rasio batas tulangan

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho b$$

6. Rasio tulangan perlu

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{(m(1 - \sqrt{\frac{1 - 2m R_n}{fy}}))}$$

7. Mencari kebutuhan tulangan As

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d$$

8. Cek syarat kapasitas penampang, $\phi M_n > M_u$

$$\alpha = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$\Phi M_n = As \times fy \left(d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

2.6.5.4 Penulangan Dinding Geser

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.7.2, spasi tulangan dinding geser harus memenuhi persyaratan berikut.

- a. Jarak antar tulangan longitudinal pada dinding beton cor di tempat maksimal antara tiga kali tebal dinding ($3h$) atau 450 mm.

- b. Apabila tulangan geser diperlukan dalam menahan gaya dalam bidang dinding, maka jarak antar tulangan longitudinal harus lebih kecil dari nilai terkecil antara 3 kali tebal dinding ($3h$), 450 mm, atau $1/3$ panjang dinding.
- c. Jarak antar tulangan melintang pada dinding beton cor di tempat harus lebih kecil dari nilai terkecil antara tiga kali tebal dinding atau 450 mm. Apabila dibutuhkan tulangan geser untuk menahan gaya dalam bidang, maka spasi tulangan tersebut dibatasi tidak lebih dari $1/5$ panjang dinding.
- d. Adapun tulangan minimum untuk dinding dengan geser sebidang $V_u \leq 0,5 \Phi V_c$, tertera pada Tabel 2.19.

Tabel 2. 19 Tulangan Minimum untuk Dinding dengan Geser

Tipe dinding	Tipe dari tulangan nonprotegang	Ukuran Tulangan	f_y , MPa	Longitudinal minimum, ρ_l	Transversal minimum, ρ_t
Cor di tempat	Batang ulir	$\leq D16$	≥ 420	0,0012	0,0020
		$> D16$	< 420	0,0015	0,0025
		$> D16$	Semua	0,0015	0,0025
	Tulangan kawat las	$\leq \phi 13$ atau D13	Semua	0,0012	0,0020
Pracetak	Batang ulir atau tulangan kawat las	Semua	Semua	0,0010	0,0010

Sumber : SNI 2847 (2019)

2.7.Pondasi

Pondasi merupakan elemen struktur yang mendistribusikan beban di atasnya ke lapisan tanah (*upper structure*) (Yuliansyah, 2021). Berdasarkan kedalamannya terdapat 2 jenis pondasi, yakni pondasi dalam dan dangkal. Dalam merencanakan pondasi perlu diselaraskan terhadap parameter kekuatan tanah serta daya dukung dari pondasi tersebut. Adapun acuan yang digunakan dalam mendesain pondasi diatur dalam SNI 1726:2019, dengan beberapa pasal berikut.

1. Pasal 7.13.1 Dasar desain
2. Pasal 7.13.2 Material konstruksi
3. Pasal 7.13.3 Karakteristik beban-deformasi pondasi
4. Pasal 7.13.4 Reduksi gaya guling pondasi
5. Pasal 7.13.5 Kapasitas geoteknik pondasi

6. Pasal 7.13.6 Persyaratan untuk struktur dengan desain seismik C
7. Pasal 7.13.7 Persyaratan untuk struktur dengan kategori desain seismik D-F
8. Pasal 7.13.8 Persyaratan untuk pondasi di situs mudah likuifaksi

Terdapat beberapa jenis pondasi dalam salah satunya yaitu tiang pancang, berperan dalam meneruskan beban konstruksi di atasnya menuju lapisan tanah keras agar stabilitas bangunan tetap terjaga (Yusup & Walujodjati, 2019). Adapun perhitungan daya dukung ultimate pada pondasi tiang pancang menggunakan data hasil uji sondir menurut Luciano Decourt (1996) dalam Mulyono & Agustina (2022) adalah sebagai berikut.

1. Menentukan daya dukung nominal *pile*

$$P_n = A_b \times 0,85 \times f'_c - 1,2 \times W_p, \text{ dengan}$$

- a. $A_b = D^2$
- b. $f'_c = K \times 100 \times 0,83$
- c. $W_p = L \times w_c$

2. Kapasitas dukung *pile*

$$P_n \times \Phi, \text{ dengan } \Phi = 0,8$$

3. Perhitungan nilai N-SPT

$$N = \frac{\sum L_1 \times N}{\sum L_1}$$

$$N_p = \frac{\sum N \text{ (dalam zona pengaruh)}}{\text{jumlah data}}$$

4. Kapasitas nominal tiang pancang dari hasil N-SPT dinyatakan dengan,

$$P_n = Q_p + Q_r,$$

$$Q_n = (N_p \times K) \times A_b$$

$$Q_1 = \left(\frac{N_p}{3} + \beta \right) \times A_s$$

$$A_s = 4 \times D \times L$$

5. Menentukan tahanan ujung di dasar tiang

$$Q_n = \alpha \times (N_p \times K) \times A_b$$

6. Menentukan tahanan selimut akibat lekatan lateral (*friction*)

$$Q_f = \beta \times \left(\left(\frac{N_f}{3} \right) + 1 \right) \times A_s$$

7. Menentukan kapasitas nominal tiang pancang

$$Q_{ult} = Q_p + Q_f$$

8. Menentukan tahanan aksial tiang pancang

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} - W_p$$

Adapun keterangan sebagai berikut.

P_n = Daya dukung nominal *pile* (kN)

A_b = Luas penampang *pile* (m²)

f'_c = Kuat tekan beton (kPa)

W_p = Berat tiang (kN)

D = Dimensi *pile* (m)

K = Mutu beton

L = Panjang *pile* (m)

w_c = Berat beton bertulang (kN/m)

Φ = Faktor reduksi kekuatan *pile* beton ($\Phi = 0,8$)

N_f = Nilai SPT rata-rata di sepanjang tiang

N_p = Nilai SPT rata-rata 4D di atas hingga 4D di bawah tiang

Q_p = Tahanan ujung di dasar tiang (kN)

Q_n = Tahanan ujung di dasar tiang (kN)

Q_f = Tahanan ujung selimut akibat lekatan lateral (kN)

A_s = Luas selimut tiang pancang (m²)

β = Koefisien selimut tiang

α = Koefisien dasar tiang

K = Koefisien karakteristik tanah (kN/m²)

SF = *Safety factor*

Adapun perhitungan daya dukung ultimate pondasi tiang pancang dengan hasil sondir menurut metode Mayerhoff (1956) yang termuat dalam Mulyono & Agustina (2022) sebagai berikut.

1. Menentukan daya dukung nominal pile

$$Q_{ult} = Q_u + Q_s$$

$$Q_{ult} = (Q_c \times A_p) + (T_f \times O_p)$$

2. Menentukan daya dukung ijin tiang

$$Q_{all} = \left(\frac{Q_c \times A_p}{Fk1} \right) + \left(\frac{T_f \times O_p}{Fk2} \right) = \left(\frac{Q_c \times A_p}{3} \right) + \left(\frac{T_f \times O_p}{5} \right)$$

3. Menentukan daya dukung netto

$$Q_{nett} = Q_{all} - \omega$$

$$\omega = V \times \gamma_{beton}$$

4. Menentukan kapasitas jumlah tiang pancang

$$n = \frac{P}{Q_{all}}$$

5. Menghitung efisiensi kelompok tiang pancang

$$E_g = 1 - \theta \times \left(\frac{(n' - 1) \times m + (m - 1) \times n'}{90 \times m \times n'} \right)$$

6. Menentukan kapasitas daya dukung ijin kelompok tiang

$$Q_g = n \times Q_{all} \times E_g$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

Qult = Daya dukung maksimum (ton)

Qu = Daya dukung ujung tiang (ton)

Qs = Gaya geser selimut tiang (tiang)

Qc = Tahanan ujung sondir (kg/cm²)

Ap = Luas penampang tiang (m²)

Tf = *Total friction* (cm²)

Op = Keliling tiang (cm)

Qall = Daya dukung ijin pondasi (ton)

Fk1 = Faktor keamanan daya dukung ujung tiang

Fk2 = Faktor keamanan hambatan lekat tiang

Qnett = Daya dukung netto (ton)

ω = Daya dukung netto (ton)

V = Volume tiang (m³)

γ_{beton} = Berat jenis beton (kg/cm³)

n = Jumlah tiang

P = Beban rencana (ton)

Eg = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris

n' = Jumlah tiang satu baris

- $\theta = \arctan \frac{d}{s}$
 d = Diameter tiang (cm)
 s = Jarak pusat antar tiang (cm)
 Qg = Daya dukung kelompok tiang (ton)

Adapun perhitungan kekuatan pondasi sebagai berikut.

1. Gaya aksial pada tiang pancang

- a. Gaya aksial maksimum pada tiang pancang

$$Pu \max = \frac{Pu}{n} + \frac{Mux \times xmax}{\Sigma x^2} + \frac{Muy \times ymax}{\Sigma y^2}$$

Gaya aksial minimum pada tiang pancang

$$Pu \min = \frac{Pu}{n} + \frac{Mux \times xmin}{\Sigma x^2} + \frac{Muy \times ymin}{\Sigma y^2}$$

dengan syarat, $Pu \max \leq \Phi Pn$

- b. Total gaya aksial terfaktor

$$Pu = Puk + 1,2Ws + 1,2Wc$$

$$Ws = Lx \times Ly \times z \times Ws$$

$$Wc = Lx \times Ly \times h \times Wc$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

- n = Jumlah
 Mux = Momen arah x akibat beban terfaktor (kNm)
 Muy = Momen arah y akibat beban terfaktor (kNm)
 xmax = Lengan maksimum tiang pancang arah x terhadap pusat (m)
 xmin = Lengan minimum tiang pancang arah x terhadap pusat (m)
 ymax = Lengan maksimum tiang pancang arah y terhadap pusat (m)
 ymin = Lengan minimum tiang pancang arah y terhadap pusat (m)
 Puk = Gaya aksial kolom akibat beban terfaktor (kN)
 Ws = Berat tanah di atas *pile cap* (kN)
 Wc = Berat *pilecap* (kN)
 Lx = Lebar *pilecap* arah x (m)
 Ly = Lebar *pilecap* arah y (m)

2. Tinjauan geser arah x

Kuat geser *pilecap* arah x didapat dari nilai terkecil V_c dari persamaan berikut.

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) \times \sqrt{\frac{f'c \times b \times d}{6 \times 10^{-3}}}$$

$$V_c = \left(\alpha s \times \frac{d}{b} + 2\right) \times \sqrt{\frac{f'c \times b \times d}{12 \times 10^{-3}}}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{f'c \times b \times d}{10^{-3}}}$$

Syarat, $\Phi V_c \geq V_{ux}$.

3. Tinjauan geser arah y

Kuat geser *pilecap* arah y didapat dari nilai terkecil V_c dari persamaan berikut.

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) \times \sqrt{\frac{f'c \times b \times d}{6 \times 10^{-3}}}$$

$$V_c = \left(\alpha s \times \frac{d}{b} + 2\right) \times \sqrt{\frac{f'c \times b \times d}{12 \times 10^{-3}}}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{f'c \times b \times d}{10^{-3}}}$$

Syarat, $\Phi V_c \geq V_{uy}$.

Dengan keterangan dan rumus sebagai berikut.

d' = Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton (m)

d = Tebal efektif *pile cap* (m)

$$= h - d'$$

c_x = Jarak bidang kritis terhadap sisi luar (m)

$$= \frac{(Lx - bx - d)}{2}$$

W_1 = Berat beton (kN)

$$= c_x \times L_y \times h \times w_c$$

W_2 = Berat tanah (kN)

$$= c_x \times L_y \times z \times w_s$$

V_{ux} = Gaya geser arah x (kN)

$$= 2 \times Pu_{max} - W1 - W2$$

b = Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x (mm)

$$= L_y$$

β_c = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$= \frac{b_x}{b_y}$$

Φ = Faktor reduksi kekuatan geser

$$= 0,75$$

4. Tinjauan geser dua arah (pons)

Tegangan geser pons didapat dari nilai terkecil f_p dari persamaan berikut.

$$f_p = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{\frac{f'_c}{6}}$$

$$f_p = \left(\alpha_s \times \frac{d}{b_p} + 2\right) \times \sqrt{\frac{f'_c}{12}}$$

$$f_p = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c}$$

$$\Phi \times V_{np} = \Phi \times A_p \times f_p \times 10^3$$

Syarat, $\Phi V_{np} \geq P_{uk}$

Dengan keterangan dan rumus sebagai berikut.

d' = Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton (m)

d = Tebal efektif *pile cap* (m)

$$= h - d'$$

B_x = Lebar bidang geser pons arah x (m)

$$= b_x + d$$

B_y = Lebar bidang geser pons arah y (m)

$$= b_y + d$$

P_{uk} = Gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom (kN)

A_p = Luas bidang geser pons (m²)

$$= 2 \times (B_x + B_y) \times d$$

- b_p = Lebar bidang geser pons (m)
 $= 2 \times (B_x + B_y)$
- β_c = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom
 $= \frac{b_x}{b_y}$
- f_p = Tegangan geser pons yang disyaratkan (MPa)
- Φ = Faktor reduksi kekuatan geser
 $= 0,75$

2.6.1. *Pile Cap*

Pile Cap berbentuk pelat beton bertulang yang berfungsi mendistribusikan beban struktur ke pondasi. Untuk mencegah kegagalan berupa patah atau pergeseran, *pile cap* harus dirancang secara efisien sesuai kebutuhan (Putera dkk, 2019, 31).

2.6.2. Penulangan Tulangan *Pile Cap*

Berdasarkan SNI 2847:2019, perencanaan penulangan *pile cap* dilakukan sebagai berikut.

1. Tinggi minimal efektif tulangan bawah *pile cap* minimum 300 mm.
2. Jarak minimal antar tiang yakni 3D, dengan tujuan penyaluran ke lapisan tanah berjalan secara maksimal.
3. Momen terfaktor dan gaya geser yang dihasilkan diimplementasikan dalam perhitungan reaksi setiap tiang yang diestimasi terfokus pada titik pusat penampang tiang.
4. Analisis kekuatan geser satu arah (V_n)

$$\text{Nilai } \phi V_n \geq V_u \text{ dengan } V_n = V_c + V_s$$

5. Analisis kekuatan geser dua arah (V_u)

$$\text{Nilai } \phi V_n \geq V_u \text{ dengan } V_n = V_c$$

6. Penulangan lentur *pile* dihitung dengan mengalikan jumlah *pile* dengan besarnya beban yang dipikul

$$P_u = \sum \text{pile} \times Q_u$$

7. Lentur kritis ditentukan dari jumlah *pile* di bawahnya

$$M_{U1} = P_{U1} \times (kD/2 - bc/2)$$

$$M_{U2} = P_{u1} \times (kD/2 - hc/2)$$

2.8. Perencanaan Biaya

2.8.1. Quantity Take Off (QTO)

Quantity Take Off atau QTO adalah proses perhitungan volume pekerja dan material yang dibuat secara detail pada proyek konstruksi guna mengetahui estimasi biaya yang dibutuhkan (Tigauw dkk, 2023). QTO menjadi cara akurat dalam menganalisis kebutuhan seluruh biaya dan produktivitas proyek. Adapun salah satu pendekatan yang bisa diaplikasikan untuk menghitung *quantity take off* ini adalah mengintegrasikannya dengan penggunaan *software Autodesk Revit*. Penggunaan *software* ini dapat meningkatkan nilai efisiensi terhadap waktu pengerjaan.

2.8.2. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya atau dikenal sebagai RAB berisi kebutuhan biaya yang meliputi upah pekerja, material, dan biaya lainnya sesuai volume pekerjaan yang dihitung selama proyek berlangsung (Juansyah, dkk, 2017). Perencanaan biaya dihitung dengan mengalikan jumlah volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan setempat. Nilai RAB ini dapat dibuat sebelum proyek dikerjakan dan bisa diperbarui secara teratur selama pengerjaan proyek berlangsung.

Perencanaan anggaran biaya dapat dilakukan dengan mengintegrasikan penerapan BIM dan *Microsoft Excel*. *Microsoft Excel* dibuat sebagai penyajian data dan penggunaan *Autodesk Revit* sebagai perhitungan volume pekerjaan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Berlian (2016) disebutkan bahwa penerapan BIM pada proses konstruksi mampu menekan biaya hingga 52,25% jika dibandingkan dengan metode konvensional.

2.9. Penjadwalan

Penjadwalan pada proyek konstruksi adalah informasi mengenai rancangan jadwal serta perkembangannya yang berkaitan dengan biaya, tenaga kerja, material, dan waktu pelaksanaan proyek konstruksi (Febriana & Aziz, 2021, 38). Penjadwalan

dibutuhkan untuk mengatur segala aktivitas selama proyek konstruksi agar pelaksanaan proyek sesuai dengan lama waktu yang direncanakan. Selain itu, penjadwalan juga berperan dalam mengelola jumlah material, pekerja, dan biaya saat proyek berlangsung (Adi dkk., 2016).

Salah satu metode yang diterapkan dalam merencanakan penjadwalan proyek adalah metode Kurva S. Kurva S ini merepresentasikan perkembangan pekerjaan proyek sesuai waktu, kegiatan, serta bobot pekerjaan. Hal tersebut digambarkan melalui nilai persentase kumulatif dari setiap item pekerjaan pada proyek. Perkembangan pekerjaan proyek tersebut dapat dibandingkan dengan jadwal rencana (Fitrianto & Sumarningsih, 2019).

2.10. Literature Review

Adapun beberapa *literature review* sebagai referensi pada penelitian ini sebagai berikut.

Tabel 2. 20 Literature Review

No.	Peneliti	Metode/Software yang digunakan	Hasil
1.	Daisy D.G. Pangemanan, Evi Aprianti, Fleren Abetsina Larwuy (2025)	Menganalisis efisiensi penggunaan <i>half slab</i> terhadap waktu dan biaya.	Hasil analisis menunjukkan penggunaan <i>half slab</i> memberikan efisiensi terhadap waktu sebesar 29 hari dan biaya sebesar Rp 29.718.483.194,103.
2.	Nur Ashmi Hafian (2024)	Menganalisis penggunaan <i>half slab</i> dengan integrasi BIM 5D pada proyek infrastruktur jalan menggunakan <i>software Allplan, Microsoft Project, dan Naviswork.</i>	Redesain desain jembatan menggunakan <i>half slab</i> dengan menerapkan teknologi BIM 5D menunjukkan adanya efisiensi terhadap waktu pengerjaan proyek dan kebutuhan anggaran proyek yaitu sebesar Rp 4.221.200,440.
3.	Dilla Adinda Meilia dan Tika Ermita Wulandari (2023)	Menganalisis kebutuhan anggaran biaya pemasangan pelat lantai <i>precast</i> dalam perencanaan struktur gedung.	Perencanaan penggunaan pelat lantai <i>precast</i> menghabiskan anggaran biaya sebesar Rp 1.684.097,837.
4.	Amalina Farhana dan Vendie Abma (2022)	Menganalisis perbandingan kebutuhan rencana anggaran biaya (RAB) pekerjaan struktur dalam implementasi BIM 5D, pembuatan daftar harga dengan <i>PriMus.</i>	Hasil penggunaan konsep BIM 5D pada estimasi biaya menghasikan nilai yang lebih efisien dari anggaran biaya rencana, dengan selisih mencapai 7%.
5.	Indra Ramdani, Paikun, Ardin Rozandi, Dana	Membandingkan hasil perhitungan <i>quantity/volume</i> dilakukan	Didapatkan hasil efisiensi sebesar 30% dalam pembuatan desain

No.	Peneliti	Metode/Software yang digunakan	Hasil
	Budiman, Kornienko Elena Vladimirovna (2022)	melalui metode konvensional dan BIM 5D.	proyek dengan penggunaan BIM 5D.

Kesimpulan

Berdasarkan *literature review* yang disebutkan pada Tabel 2.20 diketahui bahwa penerapan BIM 5D dalam perencanaan sebuah proyek dapat meningkatkan akurasi data, utamanya mengenai perhitungan volume pekerjaan, serta penerapan *half slab* dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya pekerjaan struktur pelat lantai. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang mana penemuan inovasi hanya difokuskan pada satu titik permasalahan, baik itu mengenai keakuratan pada data perencanaan ataupun masalah pada fase pelaksanaan proyek. Sementara itu, pada perencanaan tugas akhir ini, diterapkan integrasi antara metode *half slab* dengan BIM 5D yang menawarkan solusi alternatif tidak hanya pada lingkup fase perencanaan melainkan hingga fase pelaksanaan proyek. Solusi ini mencakup optimalisasi keakuratan penyajian data perencanaan, utamanya berkaitan dengan perhitungan volume pekerjaan pada perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta efisiensi anggaran biaya dan jaminan kualitas mutu material pada pelaksanaan konstruksi gedung.