

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BIM

2.1.1 Definisi BIM

Building Information Modeling (BIM) memiliki pengertian sebuah teknologi yang menerapkan sistem integrasi demi menghasilkan keperluan data konstruksi yang efektif. Adanya BIM dapat mengubah dokumen menjadi bentuk visualisasi nyata dalam komputer yang berisi beberapa informasi terkait proyek (Zinal Bin Hamid, 2021).

BIM merupakan sistem teknologi dalam bidang AEC (*Architecture, Engineering, Construction*) yang menghasilkan model bangunan berisi gabungan informasi satu dengan lainnya sehingga dijadikan landasan untuk memutuskan keperluan data proyek dari awal perencanaan hingga proses pembongkaran (Parung dkk., 2019).

Kerja sama antar pemangku proyek sangat dibutuhkan untuk kelancaran komunikasi dan penemuan kesepakatan bersama demi mempersingkat waktu pengerjaan konstruksi (Zinal Bin Hamid, 2021). sistem BIM yang terlahir dapat memperlancar koordinasi antar pemangku proyek, dengan BIM yang dapat di akses oleh beberapa pengguna untuk memeriksa bahkan mengeditnya, dapat mengurangi adanya komunikasi yang gagal.

Perubahan zaman konvensional ke zaman mutakhir, telah melahirkan BIM yang dapat menjadi solusi bagi permasalahan yang sering terjadi di masa lalu, yaitu adanya kegagalan dalam komunikasi antar pemangku konstruksi sehingga menimbulkan informasi yang kurang baik. Kesalahan tersebut dapat mengubah rencana pengerjaan proyek yang sudah disusun, mulai dari lama pengerjaan, biaya, bahkan material yang akan digunakan (Zinal Bin Hamid, 2021).

Akan tetapi, perkembangan BIM di Indonesia masih belum maksimal dibandingkan dengan negara lain. Masih diperlukan sosialisasi kembali terkait BIM kepada kalangan masyarakat di bidang konstruksi agar bisa memanfaatkan teknologi BIM lebih maksimal. Untuk pemahamannya, diperlukan waktu yang

tidak sedikit, mengetahui bahwa teknologi ini dirancang untuk menyatukan fungsional dari perangkat lunak konvensional (Zinal Bin Hamid, 2021)

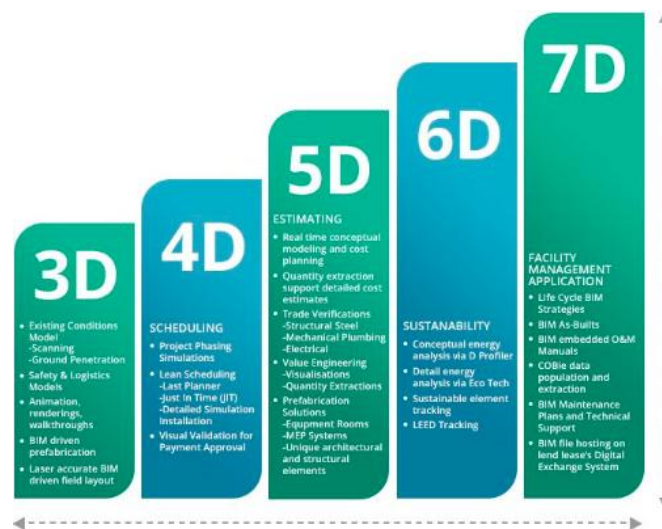
2.1.2 Dimensi BIM

Menurut (Piranusa, 2022), pemanfaatan BIM disesuaikan berdasarkan dimensinya. Untuk BIM sendiri, memiliki 6 tahapan mulai dari 2D, 3D, 4D, hingga 7D. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat informasi terkait pemanfaatan BIM berdasarkan dimensinya.

Tabel 2. 1 Informasi Pemanfaatan BIM berdasarkan dimensinya
(Sumber : Piranusa, 2022)

No	Dimensi BIM	Manfaat
1.	3D Permodelan Kolaboratif	1. Memberi kepastian dan mengurangi revisi/ kesalahan pada tahap perencanaan (<i>clash detection</i>) 2. Dapat mempermudah dokumentasi 3. Koordinasi antar pihak dipermudah 4. Bentuk visualisasi dan simulasi permodelan 5. Membentuk komunikasi 6. Menunjang permintaan eksternal 7. Membantu manajer dalam mengambil Keputusan
2.	4D Penjadwalan	1. Meningkatkan Efisiensi Waktu 2. Dapat membantu dalam mengendalikan proyek konstruksi
3.	5D Pembiayaan	1. Meningkatkan efisiensi biaya 2. Efisiensi Sumber Daya Manusia (SDM) 3. Menghindari pekerjaan ulang pada tahap pelaksanaan konstruksi 4. Melakukan estimasi biaya
4.	6D Sustainability	1. Membantu dalam mengurangi limbah (<i>waste</i>) 2. Menunjang <i>sustainability</i> (keberlanjutan) 3. Efisiensi energi
5.	7D Pengelolaan Fasilitas	1. Melakukan manajemen fasilitas / bangunan

Dalam buku modul Pelatihan Konstruksi Dengan Sistem Teknologi BIM (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018), menjelaskan beberapa tingkatan penerapan BIM dalam kontribusi terhadap konstruksi ada enam tahapan (dimensi) dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Tingkatan Level BIM

(Sumber : Kementrian PUPR, 2018)

1. Tahapan 2D (Rencana Implementasi)

Di dalam permodelan 2D, setiap gambar diwakili oleh garis (sumbu X dan sumbu Y). Sumbu X menjelaskan lebar dan sumbu Y menjelaskan tinggi dari gambar tersebut. Seperti contoh di dalam gambar potongan lebih jelas di gambar dalam bentuk 2D dengan berdasar sumbu X dan sumbu Y.

2. Tahapan 3D (Model Informasi Bersama)

Model 3D direpresentasikan dalam sumbu X, Y, dan Z dengan memberikan keefektifan model konstruksi dalam penggabungan beberapa multidisiplin dan kemudahan dalam mendeteksi adanya kesalahan. Sehingga hal tersebut dapat mengurangi adanya pengerjaan ulang karena kesalahan akibat manusia serta kualitas lebih baik pada visualisasi model dan penggabungan antar multidisiplin.

3. Tahapan 4D (Penjadwalan Konstruksi)

Tahapan 4D, pemanfaatannya mulai berkembang menjadi sebuah visualisasi dari proses pembangunan proyek dari awal hingga akhir disertai rangkuman

penjadwalan pembangunan. Penggabungan antara pemodelan 3D dengan jadwal proyek ini dapat mengetahui seberapa lama proyek konstruksi berlangsung sehingga menghasilkan penjadwalan pelaksanaan proyek yang lebih efisien.

4. Tahapan 5D (Penentuan Biaya)

BIM 5D terjadi tahapan integrasi dari data yang diolah yaitu *modelling* (BIM 3D) dan penjadwalan (BIM 4D) yang akan menghasilkan bentuk kemajuan dari aktivitas & biaya selama proyek berlangsung (Farhana & Abma, 2022). Dalam pemodelan 5D ini dapat menggunakan *Autodesk Revit* dan *Autodesk Naviswork* dalam mengombinasi *software* sebagai pendukung nya, Adanya BIM 5D dapat mengawasi anggaran pada proyek. Sehingga, hal ini berpengaruh pada saat pelaksanaan proyek berlangsung, Bentuk visualisasi bangunan dengan *digital platform* yang memuat segala informasi memudahkan para pelaku konstruksi dalam memprediksi serta pengambilan keputusan terkait konstruksi, biaya, desain serta pemeliharaan bangunan tersebut.

Program BIM 5D memberikan layanan kepada pengguna untuk mempermudah dalam memperkirakan aliran keuangan proyek dalam model 3D. Keunggulan dari BIM 5D dibandingkan dengan konvensional ialah jika terjadi modifikasi pada desain, secara otomatis *Quantity Take Off* untuk bahan perencanaan RAB akan termodifikasi juga, sehingga tidak membuang banyak waktu dalam merevisi (Noviani dkk., 2021).

5. Tahapan 6D (Keberlanjutan)

Tahapan 6D, BIM mulai berkembang dengan konsep yang berkelanjutan, menggabungkan pemodelan energi dan analisa terhadap kinerja bangunan. BIM 6D akan menghasilkan bangunan yang efisiensi energi.

6. Tahapan 7D (Manajemen Fasilitas)

Tahapan 7D, BIM mulai berkembang baik, dapat menggabungkan ilmu administrasi bisnis, perilaku manusia dan ilmu teknis sehingga dapat memanajemen dan mengontrol sarana dan prasarana bangunan berdasarkan lingkungan bangunan tersebut.

2.2 SAP 2000

Dalam dunia teknik sipil, aplikasi SAP 2000 sudah dikenal banyak khalayak. Menurut (Sholeh, 2021), bahwa SAP 2000 telah dibuat sedemikian rupa untuk menganalisa struktur bangunan dengan akurasi dan kompleksitas tinggi. Fokus utama dari aplikasi SAP 2000 ialah pada analisis statik dan dinamik. Dimana pemodelannya dapat berupa model 2D maupun 3D.

Selain melakukan analisa statik dan dinamik, SAP 2000 juga dapat menganalisa gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa, dan lain sebagainya. Banyaknya kegunaan dari SAP 2000, analisa yang dihasilkan pun akan semakin baik dalam rancangan atau pengujian struktur bangunan (Sholeh, 2021)

Penggunaan SAP 2000 memiliki beberapa tahapan. Dimulai dengan pembuatan model struktur, kemudian melakukan analisa terhadap beban yang bekerja. Pada tahap akhir, perencana dapat memeriksa apakah struktur sudah aman dalam stabilitas, atau memerlukan perubahan desain. Selain mendeteksi adanya kegagalan struktur dengan ditandai berwarna merah, SAP 2000 juga menawarkan adanya perubahan desain elemen sehingga struktur yang dihasilkan menjadi lebih efisien (Sholeh, 2021).

2.3 Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan salah satu perangkat lunak berbasis BIM. *Software Autodesk Revit* dapat menghasilkan model bangunan dalam bentuk 3D dan memvisualisasikan data keperluan proyek. *Autodesk revit* mempermudah pengguna dalam mendesain model 3D karena dapat mendeteksi kesalahan dalam pemasukan informasi desain bangunan (Anjani dkk., 2022).

Menurut (Aniendhita R.A., 2020) Pemodelan *Autodesk Revit* mulai dari 2D, 3D, dan penjadwalan proyek merupakan visualisasi dari gabungan informasi data proyek yang sama. *Autodesk Revit* dapat menghubungkan komunikasi antar pemangku proyek sehingga perubahan dalam desain bangunan dapat diketahui oleh semua pihak yang terlibat (Ferry, 2020).

Kegunaan dari *Autodesk Revit* dapat dibedakan menjadi tiga menyesuaikan disiplin ilmu bangunan, mulai dari struktural, arsitektural, serta MEP. *Autodesk Revit* struktural berperan sebagai pemodelan dari struktur bangunan, mulai dari

balok, kolom, pondasi, pelat lantai dan elemen struktur lainnya. *Autodesk Revit* dapat memberikan kemudahan bagi pengguna yang menginginkan desain struktural dengan baja. Kolaborasi antar *Autodesk Revit* dengan *Advance Steel* akan memperlancar keberjalanan dari tahap desain hingga fabrikasi dengan hasil pemodelan secara rinci dengan baja khusus maupun koneksi parametrik (Sagita, 2022).

Menurut (Farabi, 2023), *Autodesk Revit* juga memiliki beberapa keunggulan, di antaranya sebagai berikut:

1. Pemodelan Parametrik

Pemodelan parametrik adalah istilah yang mencakup semua yang mengacu pada pembuatan model 3D berdasarkan set aturan. Dalam *Autodesk Revit* terdapat “*family*” untuk pemodelan parametrik. Semua yang ada di *Autodesk Revit*, mulai dari blok judul, tampilan 3D hingga bagian bangunan seperti dinding ataupun lantai, termasuk dalam “*family*”. Beberapa bagian dibuat dalam perangkat lunak, beberapa lainnya dapat dilihat dari perpustakaan atau *libraries*. Sebuah “*family*” dapat dibuat sendiri dengan menentukan dimensi dan properti yang akan digunakan untuk informasi 2D atau 3D. Setelah itu, pengguna *Autodesk Revit* masih dapat merevisi parameter tersebut seperti lebar, tinggi, atau ketebalan *family*. Hal ini meningkatkan kontrol desain bangunan model 3D pada *Autodesk Revit*.

2. Otomatisasi

Istilah otomatisasi dalam *Autodesk Revit* mengartikan bahwa seluruh informasi yang digunakan untuk membuat pemodelan akan disimpan dalam satu database, yang artinya database akan diperbarui setiap kali pengguna membuat perubahan pada seluruh model. Ini memungkinkan proses desain bangunan di otomatisasi dan menghindari pengerjaan ulang yang disebabkan oleh melakukan perubahan di berbagai file *Autodesk Revit*.

3. Kolaborasi

Salah satu perbedaan utama antara *AutoCad* dengan *Autodesk Revit* ialah kemampuan *Revit* dalam membantu pengguna menggunakan model yang sama di waktu yang bersamaan pula. Sedangkan di dalam *AutoCad*, hanya satu

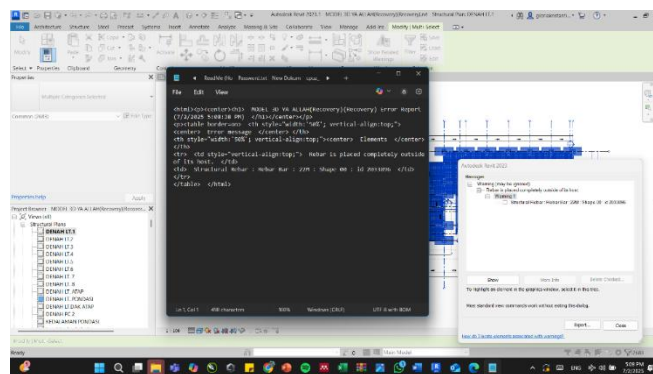
pengguna yang dapat bekerja memodifikasi model di satu waktu. Alat “*Sync With Central*” dalam *Autodesk Revit* digunakan untuk pengguna mendorong perubahan model mereka ke model “*Central*” dan juga menarik perubahan dari model “*Central*” yang sama dan dibuat oleh rekan kerja ke dalam Salinan model mereka.

4. Penjadwalan

Pada *Autodesk Revit*, model bertindak sebagai database tunggal yang berisi semua informasi, sehingga *Autodesk Revit* dapat mengurangi waktu kueri tradisional pada estimasi alur kerja. Sesuai dengan penjelasan kolaborasi, bahwa jika terjadi perubahan model di *Autodesk Revit*, secara otomatis desain model di disiplin lain juga akan ikut termodifikasi. Hal ini akan mempercepat proses perencanaan konstruksi hingga penjadwalan. Jika sudah menetapkan desain, jadwal yang telah dibuat dapat diekspor dari *Autodesk Revit*, kemudian dimodifikasi, dan diimpor ulang sesuai dengan perubahan tersebut.

5. Clash Detection

Sebelum melakukan penjadwalan dan *Quantity Take Off*, bisa terlebih dahulu melakukan *clash detection*. Dengan *Autodesk Revit*, deteksi kesalahan dapat muncul di saat pengerjaan. Ketika desain yang dilakukan tidak sesuai dengan ketentuan yang ada pada *Autodesk Revit*, secara otomatis ketika sedang memodelkan akan muncul peringatan, sehingga kesalahan seperti tumpang yang berada di luar elemen struktur akan terdeteksi. Hal tersebut meminimalisir adanya kelebihan volume pada saat *Quantity Take Off*.



Gambar 2. 2 Contoh Clash Detection

(Sumber : Analisa Penulis, 2025)

6. *Quantity Take Off*

Quantity Take Off merupakan salah satu proses dalam merencanakan bangunan yaitu menghitung banyaknya volume setiap item pekerjaan konstruksi. Biasanya, tahap ini dilakukan dengan menghitung manual, akan tetapi dengan Autodesk Revit, volume tiap item pekerjaan dapat diketahui secara langsung dari model 3D yang telah dibuat. Adanya fitur *Quantities* dan *Material takeoff*, volume tersebut akan secara otomatis keluar sesuai dengan yang diinginkan (Sadad dkk., 2022).

2.4 Microsoft Excel

Microsoft Excel merupakan sebuah aplikasi untuk melakukan operasi statistik tingkat dasar hingga level yang kompleks (Jove, 2025). Visualisasi data yang dimiliki *Microsoft Excel* beragam dan menghasilkan nilai hasil yang akurat, mulai dari diagram, grafik, tabel untuk membantu pengguna dalam menyajikan data yang di analisa (Miñan dkk., 2023).

Microsoft Excel berisi sebuah *spreadsheet* data dalam bentuk baris dan kolom yang terorganisasi untuk memudahkan penyimpanan dan pengelolaan data dalam ukuran besar (Dinesh Kumar, 2023). Keunggulan dari *Microsoft Excel*, aplikasi ini bisa digunakan oleh berbagai ilmu disiplin dikarenakan kemudahan dalam pemakaian dan akses untuk mendapatkan aplikasi ini juga mudah (Antoni, 2021).

Pada dunia konstruksi, *Microsoft Excel* juga sudah menjadi alat bantu yang sering digunakan untuk pengelolaan dan pengendalian data proyek karena dinilai efektif. Adanya rumus dan formula dalam pengelolaan data matematis, lebih memudahkan pengelolaan laporan dan analisis terkait data konstruksi. Sehingga hal tersebut menciptakan efisiensi waktu saat perencanaan (Muhtar dkk., 2016).

2.5 Microsoft Project

Microsoft Project ialah aplikasi manajemen proyek yang biasa digunakan dalam melakukan perencanaan, penjadwalan, serta pengawasan sebuah proyek dimana akan dijadikan laporan untuk mengetahui keberlangsungan di lapangan (Anggodho, 2018). Unsur-unsur manajemen proyek di *Microsoft Project* memberikan

kemudahan bagi perencana untuk menyelesaikan pengelolaan proyek dengan hasil data yang akurat (Anggodho, 2018).

Microsoft Project menawarkan jenis penggabungan metode manajemen pada proyek yaitu *Program Evaluation Review Technique* (PERT), *Critical Path Method* (CPM), serta *Gantt Chart*. Adanya aplikasi ini, akan dengan mudah merencanakan penjadwalan proyek dengan mengetahui kapan proyek itu dimulai dan berakhir berdasarkan sumber daya yang ada (Anggodho, 2018). Pada tampilan *Microsoft Project*, akan terdapat kolom *Task*, *Duration*, *Start*, *Finish*, *Predecessor*. Kolom *Predecessor* digunakan untuk mengetahui hubungan pekerjaan satu dengan yang lain, dapat diisi dengan FS (*Finish to Start*) ketika pekerjaan yang akan dimulai pada saat pekerjaan sebelumnya selesai, dapat diisi dengan FF (*Finish to Finish*) ketika menginginkan pekerjaan dapat selesai bersamaan dengan pekerjaan lain, ketika SS (*Start to Start*) ketika pekerjaan dimulai bersamaan dengan pekerjaan lain, dan SF (*Start to Finish*) saat pekerjaan lain dimulai dan pekerjaan baru boleh diakhiri. Hubungan keterkaitan ini dapat merencanakan adanya kemajuan proyek.

2.6 Autodesk Naviswork

Autodesk Naviswork menjadi perangkat lunak berbasis BIM yang memberikan jalan keluar bagi permasalahan proyek dilengkapi dengan adanya dukungan kolaborasi serta analisis desain dan konstruksi. *Autodesk Naviswork* dapat mendeteksi adanya benturan antar elemen pada desain 3D sehingga meminimalisir adanya pengerjaan ulang. Hal ini merupakan salah satu keunggulan *Naviswork* dengan melakukan integrasi desain antar multidisplin dalam bentuk 3D berbasis BIM untuk dijadikan model tunggal.

Naviswork juga sudah mendukung tahapan BIM 4D dan 5D, dimana adanya integasi antara mode 3D dengan informasi data penjadwalan dan anggaran biaya proyek (Ferry, 2020). Dengan melakukan penjadwalan pada proyek, di dapat hubungan antar unsur organisasi proyek konstruksi, mengetahui durasi tiap pekerjaan dan sebagai alat *monitoring* pelaksanaan konstruksi selama di lapangan, serta membantu pengendalian dan evaluasi proyek. Di dalam *Autodesk Naviswork* sendiri terdapat fitur *clash detection*, *timeliner*, *animator*, *quantification workbook*

dan lain sebagainya (Sunaengsih dkk., 2020). Selain itu, aplikasi *Naviswork* memiliki beberapa manfaat di antaranya :

1. Efisiensi dan Akurasi pada Perencanaan Proyek Konstruksi

Komponen proyek yang tidak sesuai dapat di desain ulang dan di modifikasi berdasarkan permintaan klien. Hal tersebut sudah di fasilitasi dan disediakan oleh *Autodesk Naviswork* berupa adanya simulasi terkait Pembangunan dari awal hingga akhir, sehingga perencana dapat lebih mudah untuk menganalisa demi menghasilkan desain dengan biaya yang lebih kecil dan meminimalkan waktu proyek tersebut.

Menurut (Berlian et al., 2016), didapatkan hasil dimana waktu menggunakan BIM dinilai 50% lebih cepat dibandingkan dengan pekerjaan konvensional. Dan biaya yang dikeluarkan pun terdapat selisih sebesar 52,25% ketika menggunakan aplikasi BIM dibandingkan konvensional. Hal ini didasari oleh beberapa faktor

2. Integrasi Model 3D

Dalam *Autodesk Naviswork*, terdapat fitur untuk menggabungkan model 3D dengan data dari *software* ilmu disiplin lain menjadi satu kesatuan terpadu, dapat dilihat pada Gambar 2.2. Penggabungan ini dapat mempermudah perencana dalam mendeteksi adanya kekurangan pada desain serta koordinasi antara tim perencana semakin meningkat (Saputri dkk., 2020). Umumnya, pembuatan 3D dilakukan pada *Autodesk Revit* untuk nantinya dilakukan integrasi ke dalam *Autodesk Naviswork* dengan tujuan pembuatan BIM 4D dan 5D, dimana penggabungan antara 3D, penjadwalan dan juga pembuatan RAB. Proses integrasi ini terbilang cukup mudah, dikarenakan sudah disiapkan fitur untuk *link* dari *Autodesk Revit*, kemudian setiap elemen dapat dikelompokkan untuk memudahkan penjadwalan dan pembuatan RAB.

3. Visualisasi Konstruksi

Autodesk Naviswork menawarkan sebuah visualisasi konstruksi dalam bentuk simulasi video, dimana adanya penggabungan model 3D dengan penjadwalan (4D). Pada Gambar 2.3 terdapat contoh video simulasi BIM 5D, di sana tercantum proses pembangunan dari awal hingga akhir disertai dengan rekap penjadwalan dan juga biaya proyek di bagian kiri atas. Video simulasi ini bertujuan agar para pemangku proyek memahami urutan pekerjaan lapangan sehingga dapat berjalan dengan optimal (Saputri dkk., 2020).

2.7 Pembebanan Bangunan Gedung

Pembebanan dilakukan dengan mengacu pada aturan SNI 1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Berikut adalah penjelasan terkait beban-beban yang terdapat pada bangunan menurut SNI 1727-2020:

2.7.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat keseluruhan permanen sebuah struktur yang tidak dapat dipisahkan dari suatu bangunan. Beban mati sendiri bekerja dengan arah vertikal ke bawah yang dipengaruhi oleh karakteristik dari bangunan tersebut. Beban mati memiliki sifat konstan dan tidak dapat berubah seumur hidup bangunan. Komponen dari beban mati sendiri merupakan elemen-elemen struktur bangunan seperti, kolom, balok, dan pelat lantai. Dalam menghitung beban mati yang ada pada bangunan, dapat mengalikan besaran beban dengan massa jenis material yang digunakan, tertera pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Massa Jenis Bahan Bangunan

(Sumber : Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik)

No.	Material	Massa Jenis (Kg/m ³)	Keterangan
1.	Baja	7,850	
2.	Batu Alam	2,600	
3.	Batu Belah	1,500	Berat Tumpuk
4.	Batu Karang	700	Berat Tumpuk
5.	Batu Pecah	1,450	
6.	Batu Tuang	7,250	
7.	Beton	2,200	

8.	Beton Bertulang	2,400	
9.	Kayu	1,000	Kelas 1

Kemudian terdapat beban mati tambahan yang ditimbulkan dari berat elemen tambahan yang sifatnya permanen. Di dalam perencanaan nya, yang termasuk dalam beban mati tambahan pada perencanaan ini sebagai berikut:

1. Beban Dinding

Beban dinding terbagi menjadi dua sesuai penempatannya, yaitu beban dinding langsung ditopang oleh balok yang merupakan beban merata, dan beban dinding yang tidak langsung ditopang oleh balok sehingga perlu dilakukan transfer pembebanan menghasilkan beban terpusat pada balok. Rumus yang dipakai dalam melakukan perhitungan beban dinding yakni:

$$Q = h \times b_j$$

Keterangan :

Q = Berat dinding (kN/m²)

H = Tinggi dinding (m)

B_j = Berat jenis material dinding (kN/m³)

2. Beban Mati Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan salah satu elemen yang menerima beban terpusat maupun merata. Beban yang bekerja pada pelat lantai berupa berat sendiri pelat, berat *finishing* lantai, berat rangka plafon, dan berat instalasi MEP. Besaran dari masing-masing berat tersebut menyesuaikan ketebalan dari material yang digunakan.

2.7.2 Beban Hidup (*live load*)

Menurut SNI 1727-2020, Beban hidup merupakan beban yang menyinggahi atau menggunakan bangunan tersebut. Salah satu dari beban hidup ialah beban lantai akibat benda bergerak di atasnya. Dan berat dari beban tersebut dapat berubah kapan saja. Sehingga hal tersebut dapat memengaruhi beban pada struktur atas dan lantai. Perhitungan pada beban hidup sendiri berpedoman pada SNI 1727-2020. Pada umumnya, beban hidup ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah dan juga bisa dengan arah horizontal.

Sesuai dengan perencanaan penulis, yaitu merencanakan ulang sebuah Rumah Susun, berikut terdapat nilai beban hidup yang akan tercantum dalam perencanaan sesuai dengan SNI 1727-2020 Pasal 4.3, Tabel 4.3.1 sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Faktor Beban Hidup

(Sumber : SNI 1727-2020)

No.	Penggunaan	Lantai	Beban Merata (kN/m ²)
1.	Ruang Kamar Hunian	1-8	1,92
2.	Lobby dan Koridor	1-8	4,79
3.	Gudang Penyimpanan	1	11,97
4.	Ruang Pengelola	1	2,4
5.	Toilet	1-8	2,87

2.7.3 Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin merupakan beban yang berasal dari tekanan udara yang bekerja pada suatu bangunan atau sebagian bangunan. Besarnya tekanan udara tersebut dinyatakan dalam kg/m² dengan menganggap adanya tekanan bernilai negatif (hisap) dan tekanan bernilai positif (desak).

Perhitungan beban angin untuk bangunan gedung tertutup diatur dalam SNI 1727-2020 Pasal 27.2 pada Tabel 27.2.1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Tabel 2. 4 Nilai Koefisien Tekanan Dinamis, C_p

(Sumber : SNI 1727-2020 Tabel 5.4)

Kategori Risiko Bangunan	C_p
I	1,6
II	2,8
III	3,2
IV	3,5

Nilai koefisien tekanan dinamis ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan sesuai dengan yang tertera pada SNI 1727-2020 Pasal 5.4 Tabel 5.4-1 dan dapat dilihat pada tabel 2.4.

2. Menetapkan kecepatan angin dasar (V)

Kecepatan angin dasar dapat dilihat dari Buku Peta Angin Indonesia. Dapat dilihat dengan menyesuaikan kota lokasi bangunan tersebut.

3. Menetapkan Parameter Beban Angin

a. Faktor arah angin (K_d)

Nilai faktor arah angin telah tertera pada SNI 1727-2020 Pasal 26.6 Tabel 26.6.1.

memiliki nilai K_d sebesar 0,85.

b. Kategori Eksposur

Mengacu pada Pasal 26.7, kekasaran permukaan tanah berdasarkan topografi dan fasilitas prasarana yang telah dibangun menentukan katogori eksposur, dapat dilihat pada tabel 2.6. Pada tabel 2.5 dapat dilihat katogori kekasaran permukaan terbagi menjadi tiga menyesuaikan situasi dan kondisi pada daerah tersebut.

Tabel 2. 5 Kategori Kekasaran Permukaan Tanah

(Sumber : SNI 1727-2020 Pasal 26.7)

Kategori Kekasaran Permukaan	Situasi & Kondisi
B	1. Daerah Perkotaan 2. Daerah Berhutan 3. Penghalang berjarak dekat
C	1. Dataran Terbuka 2. Penghalang dengan tinggi kurang dari 30 ft (9,1 m)
D	1. Permukaan datar 2. Daerah tanpa halangan dan permukaan air 3. Hamparan Lumpur Halus

Tabel 2. 6 Kategori Eksposur
(Sumber : SNI 1727-2020 Pasal 26.7.3)

Kategori Eksposur	Situasi & Kondisi
Eksposur B	1. Kekasaran permukaan tanah B, bangunan dengan tinggi rata-rata atap kurang atau sama dengan 30 ft (9,1m), berlaku arah melawan angin dengan jarak lebih besar dari 1.500 ft (457m). 2. Kekasaran permukaan tanah B, bangunan dengan tinggi atap lebih besar dari 30 ft (9,1 m), berlaku arah melawan angin dengan jarak lebih besar dari 2.600 ft (792m) atau 20 kali tinggi bangunan struktur (dipilih yang paling besar)
Eksposur C	Berlaku untuk semua kasus, ketika Eksposur B atau Eksposur D tidak berlaku
Eksposur D	1. Kekasaran permukaan D, berlaku di arah melawan angin dengan jarak lebih besar dari 5.000 ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan struktur (pilih paling besar). 2. Kekasaran permukaan B atau C, atau berada dalam jarak 600 ft (183m) atau 20 kali tinggi bangunan struktur (pilih paling besar)

c. Faktor Topografi (K_{zt})

Penentuan faktor topografi guna untuk perhitungan beban desain harus ditentukan bersamaan dengan efek peningkatan kecepatan angin dengan menggunakan faktor K_{zt} sesuai dengan pasal 26.8 sebagai berikut:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

Keterangan:

K_{zt} = Faktor Topografi

K_1 = Faktor bentuk fitur topografis dan pengaruh peningkatan kecepatan maksimum (nilai K_1 dapat dilihat pada Pasal 26.8 Tabel 26.8-1)

K_2 = Faktor memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan jarak ke sisi angin datang atau ke sisi angin pergi dari puncak. (nilai K_2 dapat dilihat pada Pasal 26.8 Tabel 26.8-1)

K_3 = Faktor memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan berkolerasi dengan ketinggian di atas elevasi lokal (nilai K_3 dapat dilihat pada Pasal 26.8 Tabel 26.8-1)

Nilai $K_{zt} = 1,0$ Jika situasi dan kondisi lokasi bangunan tidak memenuhi persyaratan kondisi yang ada pada Pasal 26.8.1.

d. Faktor elevasi permukaan tanah (K_e): (Pasal 26.9)

Pada SNI 1727-2020 Pasal 26.9, dikatakan bahwa nilai faktor elevasi permukaan tanah bisa diambil nilai $K_e = 1$ untuk semua elevasi.

e. Faktor Efek Hembusan Angin (G): (Pasal 26.11)

Pasal 26.11.1, dikatakan bahwa nilai dari faktor efek hembusan angin suatu bangunan yang kaku, bisa mengambil nilai sebesar 0,85.

f. Klasifikasi Ketertutupan

Klasifikasi ketertutupan ditentukan pada SNI 1727-2020 Pasal 26.12. Klasifikasi ini nantinya akan mempengaruhi nilai koefisien tekanan internal. Klasifikasi ketertutupan terbagi menjadi bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian dan terbuka.

g. Koefisien Tekanan Internal

Pada pasal 26.13 dijelaskan terkait koefisien tekanan internal berdasarkan hasil klasifikasi ketertutupan bangunan. Nilai koefisien tersebut dapat dilihat dari Tabel 2.7 yang ber sumber dari SNI 1727-2020 Tabel 26.13-1.

Tabel 2. 7 Koefisien Tekanan Internal

(Sumber : SNI 1727-2020 Pasal 26.13 Tabel 26.13-1)

Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan Internal	Koefisien (GCpi)
Tertutup	1. $A_0 < \text{terkecil } 0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ 2. $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	-0,18 -0,18
Tertutup Sebagian	1. $A_0 > 1,1 A_{oi}$ 2. $A_o > \text{terkecil dari } 0,01A_g \text{ atau } 4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ 3. $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	-0,55 -0,55
Terbuka	Tiap sisi dinding minimal terbuka 80%	Sedang	0,00
Terbuka Sebagian	Tidak sesuai dengan klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Diabaikan	-0,18 -0,18

4. Menentukan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_z atau K_h

Koefisien eksposur tekanan kecepatan (K_z atau K_h) diatur dalam SNI 1727-2020 Pasal 26.10 Tabel 26.10.1. Dicantumkan bahwa nilai koefisien diambil berdasarkan ketinggian bangunan di atas permukaan tanah dan kategori eksposur yang sudah didapatkan sebelumnya.

5. Menentukan Tekanan Velositas q_z , atau q_h

Tekanan velositas (q_z) terdapat pada SNI 1727-2020 Pasal 26.10.2, berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai q_z dengan nilai V dalam satuan m/s:

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 (\text{N/m}^2)$$

Keterangan:

- q_z = Tekanan velositas pada ketinggian z
- K_z = Koefisien eksposur tekanan velositas
- K_{zt} = Faktor topografi
- K_d = Faktor arah angin
- K_e = Faktor elevasi permukaan tanah

V = Kecepatan angin dasar

6. Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal C_p atau C_N

Penentuan koefisien tekanan eksternal C_p terdapat dalam Pasal 27.3 Gambar

27.3.1. Nilai C_p diketahui untuk mengetahui tekanan angin pada dinding.

Berikut pada tabel 2.8 terdapat nilai C_p sesuai dengan SNI 1727-2020:

Tabel 2. 8 Koefisien Tekanan Eksternal

(Sumber : SNI 1727-2020 Pasal 27.3 Gambar 27.3.1)

Permukaan Dinding	L/B	C_p	Digunakan
Angin datang pada sisi dinding	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0-1	0,5	q_h
Angin pergi pada sisi dinding	2	0,3	q_h
	≥ 4	0,2	q_h
Dinding tepi	Seluruh Nilai	0,7	q_h

7. Menentukan tekanan angin (p) di setiap sisi bangunan

Tekanan angin (p) pada dinding bangunan dicantumkan dalam SNI 1727-2020

Pasal 27.3.1 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$p = qGC_p - q_i (GC_{pi})$$

Keterangan:

C_p = Koefisien tekanan eksternal

(GC_{pi}) = Koefisien tekanan internal

g = Faktor efek hembusan angin

q_i (q_z) = Untuk mengevaluasi tekanan internal positif

q_i (q_h) = Untuk mengevaluasi tekanan internal negative

q (q_z) = Untuk dinding di sisi angin datang

q (q_h) = Untuk dinding di sisi angin pergi

2.7.4 Beban Gempa (*Earth Quake Load*)

Beban gempa ialah beban yang diakibatkan pergerakan tanah yang disebabkan oleh timbulnya gempa bumi. Pergerakan tanah yang terjadi dapat disebut dengan respon dinamis. Semakin tinggi bangunan, maka semakin besar juga respon dinamis yang memengaruhi struktur. Jika beban geser yang bekerja pada struktur melebihi

kapasitas maksimum, maka akan mengakibatkan keruntuhan struktur (Saputri dkk., 2020).

Pengaruh gempa terhadap struktur bangunan dapat di analisa menggunakan analisis beban statik dan beban dinamik. Ketika menggunakan analisis dinamik, gaya geser yang terbagi di setiap lantai struktur akan diperhitungkan dengan menggunakan pengaruh besaran respon dinamik terhadap struktur (Saputri dkk., 2020). Salah satu akibat adanya beban gempa ialah terjadinya simpangan antar lantai, sehingga hal ini harus diperhitungkan agar simpangan yang terjadi masih dibatas aman menyesuaikan ketentuan SNI 1726:2019.

Dasar pedoman yang digunakan dalam merencanakan struktur bangunan di Indonesia yaitu SNI 1726-2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

1. Klasifikasi Jenis Tanah

Kelas situs bisa didapatkan dari nilai uji tanah. Salah satu pengujian tanah yang dilakukan ialah uji sondir, dihasilkan nilai N-SPT dengan kedalaman 30 m dan diambil setiap kedalaman dua meter. Nilai rata-rata dari N-SPT digunakan untuk klasifikasi kelas situs sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 5.3 Tabel 5.

Tabel 2. 9 Klasifikasi Kelas Situs

(Sumber : 1726:2019 Pasal 5.3 Tabel 5)

Kelas Situs	V (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	Tidak dapat digunakan	Tidak dapat digunakan
SB (Batuan)	750 sampai 1500	Tidak dapat digunakan	Tidak dapat digunakan
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

2. Kategori Risiko Bangunan Gedung

Kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan tujuan atau penggunaan struktur yang telah direncanakan. Beragam faktor memengaruhi tingkat risiko, seperti potensi bahaya terhadap keselamatan manusia apabila terjadi kegagalan struktur, kemungkinan terjadinya kerugian ekonomi yang besar atau gangguan luas terhadap kehidupan masyarakat, serta kebutuhan untuk mempertahankan kinerja struktur bangunan sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019.

Tabel 2. 10 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

(Sumber : SNI 1726 : 2019 Tabel 3)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 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.	III

3. Faktor Keutamaan Gempa

Nilai faktor keutamaan gempa didapatkan dari penentuan kategori risiko bangunan pada SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2. Kategori risiko tersebut diambil berdasarkan jenis pemanfaatan dari bangunan itu sendiri. Setelah menentukan kategori risiko dapat melihat tabel 4 pada Pasal 4.1.2 yang tertera pada tabel 2.11 di bawah ini.

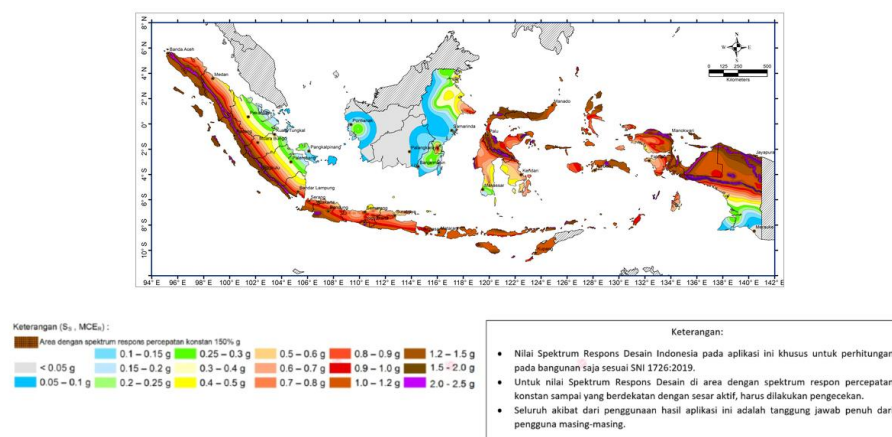
Tabel 2. 11 Faktor Keutamaan Gempa
(Sumber : SNI 1726 : 2019 Pasal 4.1.2)

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

4. Respon Spektral Parameter Percepatan Gempa

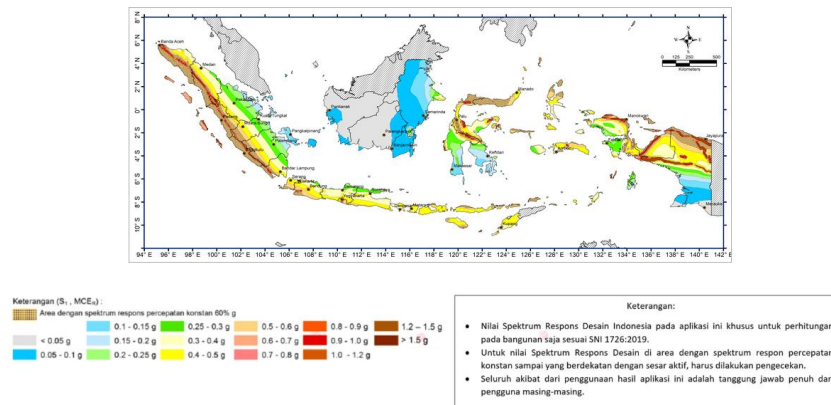
Respon spektral percepatan gempa ialah untuk mengetahui besaran nilai percepatan maksimum yang dialami struktur bangunan akibat gempa pada periode tertentu, mengacu pada peta percepatan gempa di lokasi bangunan tersebut (Nurul Huda, 2021).

Parameter percepatan gempa terdiri dari nilai percepatan spektrum respon gempa pada periode 0,2 detik (S_s) dan percepatan spektrum respon gempa pada periode 1 detik (S_1) menyesuaikan garis lintang dan bujur lokasi bangunan.



Gambar 2. 3 Peta Indonesia dalam Salah Satu Parameter Lokasi Gempa (S_s)

(Sumber : RSA Cipta Karya)



Gambar 2. 4 Peta Indonesia dalam Salah Satu Parameter Lokasi Gempa (S_1)

(Sumber : RSA Cipta Karya)

Untuk mengetahui nilai percepatan gempa dapat menggunakan situs web yang sudah disediakan oleh tim PUPR, yaitu ciptakarya.pu.go.id. yang sudah sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019. Setelah mendapatkan nilai parameter percepatan gempa, nilai tersebut akan digunakan untuk mendapatkan Kategori Desain Seismik menyesuaikan SNI 1726:2019 Pasal 6.5 terkait kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek dan periode satu detik.

Tabel 2. 12 Klasifikasi Kategori Desain Seismik Pada Parameter Respon Percepatan Periode Pendek

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.5 Tabel 8)

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

Tabel 2. 13 Klasifikasi Kategori Desain Seismik Pada Parameter Respon
Percepatan Periode 1 detik

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.5 Tabel 9)

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

5. Koefisien Situs

Faktor amplifikasi getaran percepatan terbagi menjadi dua berdasarkan periodenya, yaitu periode pendek (F_a) dan periode satu detik (F_v). Dalam menentukan koefisien situs, harus mengetahui terlebih dahulu kelas situs dari bangunan tersebut yang sudah dijelaskan pada nomor satu. Penentuan Koefisien Situs mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 6.2.

Tabel 2. 14 Koefisien Situs, F_a

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.2)

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS (Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik)					

Catatan :

- S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan juga analisis respons situs spesifik
- Perhitungan interpolasi liner dapat digunakan jika terdapat nilai-nilai diantara S_s .

Tabel 2. 15 Koefisien Situs, F_v

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.2)

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 Detik pendek, S_s					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SC</i>	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
<i>SD</i>	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
<i>SE</i>	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
<i>SF</i>	SS (Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik)					

Catatan :

- S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan juga analisis respons situs spesifik
- Perhitungan interpolasi linear dapat digunakan jika terdapat nilai-nilai diantara S_s .

Berikutnya, parameter respon spektral akselerasi pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) mengacu pada klasifikasi situs yang sudah didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

Keterangan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik.

Pada SNI 1726 : 2019 Pasal 6.3 diatur parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}), harus ditentukan melalui rumus sebagai berikut :

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

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

6. Koefisien Modifikasi Respons (R^a)

Koefisien modifikasi respons terdapat pada SNI 1726:2019 Pasal 7.2 Tabel 12 mengenai Faktor R , C_d dan Ω_0 . Dalam tabel tersebut dicantumkan sistem struktur yang akan diterapkan pada bangunan. Kemudian, akan diketahui untuk nilai koefisien modifikasi respons (R).

Tabel 2. 16 Koefisien Situs, F_v

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.2)

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	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21.Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23.Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26.Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
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 ^a	TI ^a	TI ^a
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^a	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 ^f	3½	3 ^g	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 ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^a	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

7. Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

Periode fundamental pendekatan tercantum dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1.

Dalam pasal tersebut nilai T_a dicari menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_a = C_t h n^x$$

Keterangan :

T_a = Periode fundamental pendekatan

C_t = Koefisien empiris sesuai tipe struktur

H_n = Ketinggian struktur

x = Eksponen empiris sesuai tipe struktur

Untuk nilai C_t dan x diambil dari Tabel 18 terkait Periode Pendekatan C_t dan x pada SNI 1726:2019.

Tabel 2. 17 Nilai Parameter periode pendekatan C_t dan x

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1)

Tipe Struktur	C_t	x
Rangka pada sistem rangka pemikul momen memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan tidak dilengkapi dengan komponen yang lebih kaku dan 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

Kemudian, diatur juga dalam pasal 7.8.2.1 bahwa struktur yang memiliki ketinggian sekurang-kurangnya tiga meter dan tingkat bangunan tidak melebihi 12 tingkat, maka nilai T_a harus memenuhi persamaan di bawah ini:

$$T_a = 0,1 N$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat struktur bangunan

Selain itu, dalam Pasal 7.8.2 terkait penentuan periode, nilai periode memiliki nilai minimum dan maksimum dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_a \max = C_u x T_a$$

Dimana nilai C_u merupakan koefisien batas atas periode yang akan dihitung. Koefisien C_u dapat ditentukan berdasarkan nilai S_{D1} pada Tabel 17 di Pasal 7.8.2 yang tercantum di tabel 2.15.

Tabel 2. 18 Koefisien Untuk Batas Atas

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2)

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

8. Spektrum Respons Design

Pada SNI 1726 :2019 Pasal 6.4 terdapat rumusan dalam mencari T_0 , T_s dan T_L pada respons spektrum desain dengan persamaan sebagai berikut :

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

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

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dengan nilai yang diambil dari gambar 2.6

Selanjutnya, pada pasal yang sama terdapat persamaan dalam menghitung respon spektrum percepatan desain S_a yang ditunjukkan seperti berikut :

(a) Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan S_a dipakai rumus :

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

(b) Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_s , dan lebih kecil atau sama dengan T_s maka respon spektrum percepatan S_a dipakai sama dengan S_{DS} .

(c) Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil atau sama dengan T_L , maka respon spektrum percepatan S_a dipakai rumus :

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

(d) Untuk periode lebih besar dari T_L , maka respon spektrum percepatan S_a dipakai rumus :

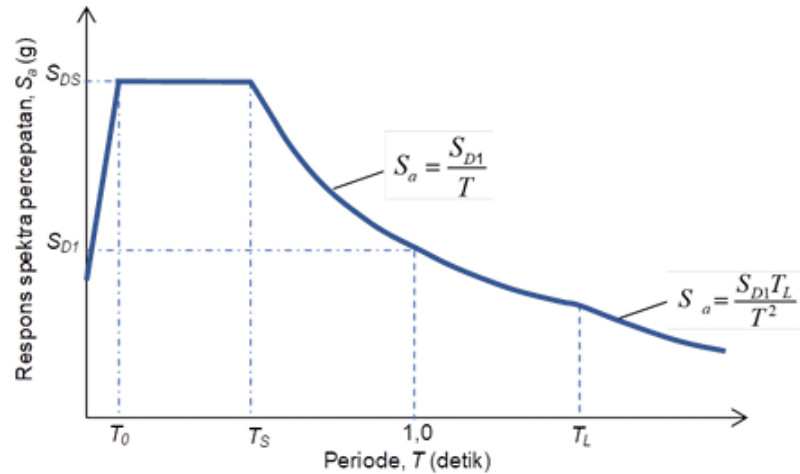
$$S_a = \frac{SD_1 T_L}{T^2}$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

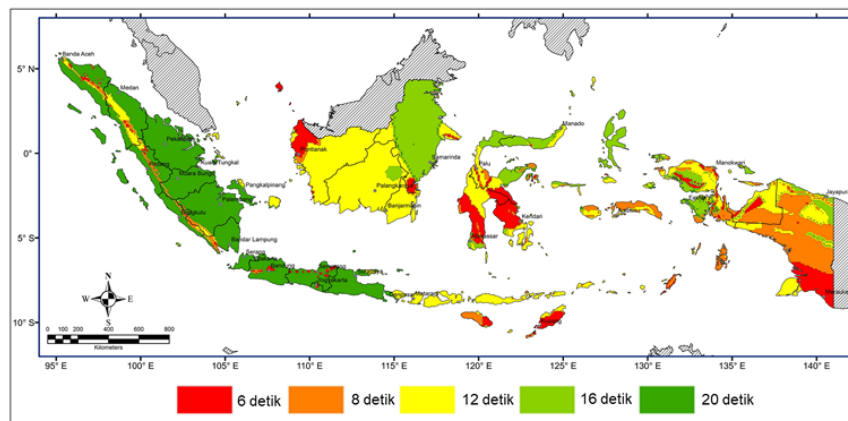
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur



Gambar 2. 5 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.4)



Gambar 2. 6 Peta Transisi Periode Panjang (T_L) di Indonesia

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 6.4)

9. Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Pada SNI 1726:2019 membahas terkait geser dasar seismik, (V) Untuk menentukan gaya geser dasar seismik mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal

7.8.1. Gaya geser dasar seismik (V) dihitung dalam arah yang ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

V = Geser dasar seismik

Nilai C_s dihitung berdasarkan nilai percepatan gempa dalam periode pendek, koefisien modifikasi respons dan faktor keutamaan gempa. Nilai C_s tidak boleh melebihi nilai dari:

$$\text{Jika nilai } T \leq T_L \text{ maka } C_s = \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

$$\text{Jika nilai } T > T_L, \text{ maka } C_s = \frac{SD1 \cdot T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

Dengan minimum nilai $C_s = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01$

2.8 Kombinasi Pembebanan

Elemen struktur bangunan memerlukan adanya kombinasi pembebanan untuk memastikan struktur bangunan aman dalam menahan berbagai beban yang ada. Dalam SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2.1 (Badan Standarisasi Nasional, 2019) terdapat aturan mengenai kombinasi pembebanan metode ultimit. Kombinasi tersebut ialah sebagai berikut:

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

Kemudian, diatur juga terkait kombinasi beban metode tegangan ijin dalam SNI 1726:2019 Pasal 4.2.3.1 (Badan Standarisasi Nasional, 2019), kombinasi tersebut terdiri dari:

1. $U = D$
2. $U = D + L$

3. $U = D + (L_r \text{ atau } R)$
4. $U = D + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$
5. $U = D + 0,6W$
6. $U = D + 0,75 (0,6W) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
7. $U = 0,6D + 0,6W$

Keterangan:

U = Kuat *ultimit* (Kuat struktur minimum untuk menahan beban pada bangunan)

D = Beban mati

L = Beban hidup

L_r = Beban hidup atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

E = Beban gempa

2.9 Sistem Struktur Gedung

Ketinggian suatu gedung sangat mempengaruhi respon dinamis yang akan terjadi pada struktur. Semakin tinggi bangunan, maka pengaruh beban lateral juga akan meningkat (Robach dkk., 2002). Sistem struktur sendiri ialah rangkaian elemen struktur yang dirancang sedemikian rupa untuk menerima dan menyalurkan beban hingga menciptakan bangunan aman dan stabil (Prima & Rumbyarso, 2021). Penerapan sistem struktur pada gedung memiliki fungsi utama, yaitu untuk menahan beban vertikal dan beban horizontal menyesuaikan respon dinamik pada lokasi bangunan tersebut (Andi dkk., 2023)

Dalam merencanakan sistem struktur dalam bangunan terdapat beberapa jenis yang disesuaikan dengan kebutuhan dari bangunan tersebut dan juga respon dinamik pada struktur. Dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.2.1 diatur terkait pemilihan sistem struktur, dimana merujuk pada Tabel 12, disana terdapat pilihan sistem struktur yang ingin digunakan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

Sistem yang digunakan dalam melakukan perencanaan ini yaitu Sistem Ganda (*Dual System*) yang memberikan kekuatan tambahan pada struktur bangunan untuk menahan beban horizontal maupun vertikal. Penjelasan detail terkait sistem tersebut terdapat di bawah ini.

2.9.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Menurut SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019), Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan sistem struktur yang komponennya bekerja dalam menahan gaya-gaya pada struktur melalui aksi geser, aksial, dan lentur. Sistem Rangka Pemikul Momen terbagi menjadi tiga jenis yang disesuaikan dengan kebutuhan dari tiap masing bangunan. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), digunakan pada bangunan yang berada di daerah gempa rendah. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), digunakan pada bangunan pada daerah yang memiliki potensi gempa sedang. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), digunakan pada bangunan dengan daerah gempa tinggi. Berikut adalah perbedaan masing-masing jenis menyesuaikan SNI 1726:2019.

Tabel 2. 19 Klasifikasi SRPM

(Sumber : SNI 1726:2019)

Sistem Raangka Pemikul Momen	Tingkat Daktilitas	Risiko Gempa	Kategori Desain Seismik	Kategori Risiko
SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)	Terbatas	Rendah	B	I, II, III pada tanah SA dan SB
SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)	Sedang	Sedang	B dan C	I, II, III pada tanah SC
SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)	Tinggi	Tinggi	B, C, D, E, dan F	I, II, III pada tanah SD dan SE.
				IV pada tanah SC, SD, dan SE

2.9.2 Dinding Geser (*Shear Wall*)

Menurut SNI 1726:2019, dinding geser ialah suatu elemen vertikal dalam struktur yang bertanggung jawab untuk menahan beban gempa lateral pada bangunan tinggi bertingkat. Dinding geser di desain untuk meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktur bangunan (Carles, 2016). Perencanaan dinding geser mengacu dalam SNI 2847:2019 untuk struktur beton bertulang dan 1726:2019 untuk merencanakan sistem struktur bangunan tahan gempa.

Beban gempa maupun angin yang menyebar melalui struktur lantai secara horizontal menyebabkan gaya lateral dan akan ditopang menggunakan dinding geser yang memiliki kekakuan besar dalam menahan gaya lateral (Carles, 2016). Dinding struktural dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu Dinding Struktural Beton Biasa (SDSB) dan Dinding Struktural Beton Khusus (SDSK). Pada Pasal 18.1.2 SNI 2847:2019, dikatakan bahwa “Struktur di wilayah dengan klasifikasi risiko gempa menengah dan tinggi harus dirancang dengan ketentuan *detailing* khusus yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan deformasi inelastik dan disipasi energi.”. Berikut adalah perbedaan dari dua jenis dinding geser yang tercantum dalam tabel 2.17.

Tabel 2. 20 Perbedaan SDSB dan SDSK

(Sumber : SNI 2847:2019)

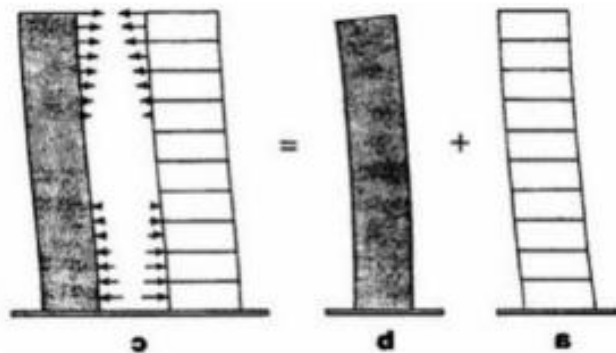
Klasifikasi	SDSB	SDSK
Penggunaan	Risiko gempa rendah – sedang	Risiko gempa sedang – tinggi
Tingkat Daktilitas	Rendah	Tinggi
Koefisien Reduksi Gempa (<i>R</i>)	Lebih kecil	Lebih besar
<i>Detailing</i> penulangan	Tidak diwajibkan memenuhi ketentuan khusus	Wajib memenuhi <i>detailing</i> sesuai ketentuan khusus
Cek Struktur	Lentur dan Geser	Lentur dan Geser termasuk syarat disiplin seismik

2.9.3 Sistem Ganda (*Dual System*)

Dalam sebuah bangunan bertingkat, biasanya dinding geser dikaitkan dengan sistem rangka pemikul momen. Penggabungan ini dinilai efektif untuk meningkatkan kekakuan pada struktur bangunan. Pernyataan tersebut didukung dengan penggunaan sistem rangka dalam menopang 100% beban gravitasi dan minimal 25% beban lateral, sedangkan 75% beban lateral pada struktur akan ditahan oleh dinding geser (Robach dkk., 2002).

Ketika kedua elemen yang berbeda dihubungkan akan menghasilkan struktur yang lebih ekonomis. Didukung dengan semakin tinggi suatu bangunan

gedung, timbulnya gaya lateral akibat gempa yang hanya ditopang dengan struktur rangka akan menjadi kurang ekonomis, dikarenakan kebutuhan dimensi balok dan kolom akan semakin besar (Novitasari dkk., 2024). Penggabungan sistem rangka kaku dengan sistem dinding geser memungkinkan terjadinya interaksi yang menyeluruh antara keduanya untuk menahan gaya gravitasi dan lateral pada bangunan. Tak hanya itu, dengan menggunakan sistem ganda ini, simpangan lateral yang dihasilkan dapat dikendalikan agar tetap kecil seiring dengan bertambahnya lantai pada bangunan tersebut. Penggabungan keduanya diperoleh gambar seperti pada berikut:



Gambar 2. 7 Penggabungan elemen Rigid Frame dan Shear Wall

(Sumber : Schueller, 1989)

2.10 Perencanaan Balok

SNI 2847:2019 mengatakan bahwa balok merupakan komponen dari struktur bangunan yang dapat menahan gaya geser dan gaya lentur serta tanpa atau dengan gaya aksial dan torsi. Balok yang berada dalam rangka momen merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral yang umumnya termasuk komponen horizontal; gelagar adalah balok (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Balok menurut (Ariani dkk., 2023), ialah komponen struktur horizontal guna menopang beban dari pelat lantai dan meneruskannya kepada kolom secara vertikal.

Terdapat tiga jenis balok yaitu, balok induk, balok anak dan balok kantilever. Balok induk ialah komponen struktur yang menopang pada kolom dengan dimensi dan kapasitas lebih besar dibandingkan balok anak, Balok induk berfungsi untuk mentransfer beban yang diterima dari balok anak serta pelat lantai

ke kolom. Sedangkan balok anak merupakan balok yang membantu pelat lantai untuk menyalurkan bebannya ke balok induk. Adanya balok anak dapat membantu pembagian beban pada balok induk lebih merata, sehingga lendutan yang terjadi akan lebih sedikit (Indriyani dkk., 2024). Sedangkan, balok kantilever merupakan balok yang dimensinya lebih besar daripada balok induk, dikarenakan hanya didukung oleh satu ujung saja dan satu ujungnya menggantung bebas, sehingga lendutan yang dialami besar. Balok kantilever biasanya berada di bangunan bagian menjorok keluar salah satunya balkon (Mierza & Surbakti, 2014)

Perencanaan balok dalam sistem struktur memiliki desain tersendiri agar aman dalam menahan beban lateral maupun geser. Berikut adalah penjelasan terkait ketentuan yang terdapat pada SNI 2847:2019.

2.10.1 Penentuan Dimensi Balok

Perencanaan dimensi balok terdapat pada Pasal 9.3.1.1 untuk tinggi balok minimum dengan menyesuaikan kondisi perletakkannya.

Tabel 2. 21 Tinggi Minimum Balok
(Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1)

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan Sederhana	$l/16$
Menerus Satu Sisi	$l/18,5$
Menerus Dua Sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

Kemudian pada Pasal 9.3.2 diatur mengenai lebar minimum balok yang tidak boleh kurang dari 200 mm. Sedangkan Pasal 18.6.2 mengatur untuk perencanaan balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, memiliki beberapa syarat sebagai berikut:

- Minimum lebar balok = $0,3 h$ atau 250 mm, pilih yang terkecil
- Panjang bersih balok (L_n) $\geq 4d$, dimana d merupakan tinggi efektif balok
- Gaya aksial (P_u) $< A_g f'_c / 10$
- lebar balok (b_w) $<$ Lebar kolom (c_1) dan $0,75$ lebar kolom (c_2)

Dalam perencanaan Sistem Rangka, sangat ditekankan dengan konsep *Strong Column – Weak Beam*. Hal tersebut ditentukan berdasarkan persamaan di bawah ini sesuai Pasal 18.7.3.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = Jumlah kapasitas momen kolom

$\sum M_{nb}$ = Jumlah kapasitas momen balok

2.10.2 Syarat Tulangan Balok

Pada Pasal 18.6.3 tercantum syarat untuk tulangan balok SRPMK yang dapat diuraikan sebagai berikut:

2.10.2.1 Tulangan Longitudinal

Adanya tulangan longitudinal pada balok, berfungsi untuk menambah kekuatan untuk menahan gaya tarik akibat lentur pada balok. Pada Pasal 18.6.3.2 diatur terkait minimum luas penampang tulangan lentur berdasarkan persamaan:

$$A_s \geq \text{Maks} \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \cdot bwd ; 1,4 \cdot \frac{bwd}{f_y} \right)$$

Kemudian, untuk luas penampang tulangan tarik maksimum tidak boleh melebihi:

$$A_s \leq 0,025 \times bw \times d$$

Keterangan:

A_s = Luas penampang tulangan (mm²)

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

f_y = Kuat leleh baja tulangan (Mpa)

bw = lebar efektif balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

2.10.2.2 Tulangan Transversal

Tulangan transversal atau sengkang berfungsi untuk menahan gaya geser pada balok dan mempertahankan tulangan longitudinal agar tetap pada posisinya. Pada pasal 18.6.4.2 posisi tulangan transversal pada balok ditentukan dengan letak posisi, sebagai berikut:

- a. Dari permukaan kolom, jaraknya sama dengan dua kali tinggi balok hingga ke tengah bentang.

- b. Pada tempat kelelahan lentur terjadi di kedua sisi penumpu, sepanjang jarak sama dengan dua kali tinggi balok.
- c. Setelah pertemuan balok kolom, sengkang pertama diletakkan sejauh 50 mm dari tepi kolom terluar

Pada pasal yang sama, diatur juga terkait batasan jarak maksimum spasi tulangan sengkang, diambil nilai terkecil dari persamaan di bawah ini:

- a. Jarak sengkang $< d/4$
- b. Jarak Sengkang $< 6db$
- c. Jarak sengkang minimal 150

Keterangan:

S = Jarak antar Sengkang (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

db = Diameter tulangan lentur

2.10.2.3 Langkah-Langkah Penulangan Balok

Berikut adalah tahapan dalam merencanakan tulangan utama pada balok sesuai dengan aturan pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.

1. Menentukan kontrol batasan tulangan balok maksimum (ρ_{max}) dan kontrol batasan tulangan balok minimum (ρ_{min}) dengan mengambil nilai terbesar dari kedua rumus ρ_{min} di bawah ini.

- $\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
- $\rho_{max} = 0,75 \rho_b$
- $\rho_{min} = 1,4/f_y$
- $\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_{c'}}}{f_y}$

2. Menentukan nilai Momen Ultimit (M_u) berdasarkan hasil analisa di SAP 2000
3. Menghitung nilai Momen Nominal (M_n) dengan rumus:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

4. Menghitung Koefisien Ketahanan R_n , dengan rumus:

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2}$$

5. Menentukan nilai kontrol batasan berdasarkan nilai R_n dengan persamaan sebagai berikut:

- $R_n = \rho \cdot f_y \left[1 - 0,59 \cdot \rho \frac{f_y}{f_{c'}} \right]$
- $\rho_{1,2} = \frac{(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})}{2a}$

Dari $\rho_{1,2}$ di atas, diambil nilai paling terkecil, kemudian dibandingkan dengan ρ_{max} dan ρ_{min} untuk menentukan ρ perlu.

6. Menentukan nilai A_s perlu dengan rumus:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

7. Menentukan jumlah tulangan dengan rumus:

$$n \text{ tul} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tul}}}$$

8. Menghitung A_s terpasang dengan mengalikan jumlah tulangan dengan $A_{s \text{ tul}}$.
9. Kontrol kekuatan dengan menghitung ρ terpasang, lalu membandingkannya dengan ρ perlu, dengan syarat aman yaitu ρ terpasang $>$ ρ perlu. Berikut adalah rumus dari ρ terpasang:

$$\rho \text{ pasang} = \frac{A_{s \text{ terpasang}}}{b \times d}$$

10. Menentukan posisi sumbu netral dengan menghitung jarak dari muka tekan beton menuju resultan gaya tekan beton pada balok,

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times b \times f_{c'}}$$

11. Menghitung nilai jarak dari muka tekan beton menuju sumbu netral pada balok menggunakan rumus di bawah ini.

$$c = \frac{a}{\beta}$$

12. Kontrol regangan tulangan tarik (ϵ_t) untuk mengetahui apakah tulangan sudah mengalami leleh serta untuk mengetahui klasifikasi perilaku penampang. menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 > 0,005$$

13. Kontrol kekuatan dengan momen nominal (M_n) yang sudah di reduksi, dengan nilai faktor reduksi yaitu 0,90

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

14. Melakukan pengecekan keamanan kekuatan momen dengan syarat momen nominal yang tereduksi harus lebih besar daripada nilai momen ultimit balok.
- $$\phi M_n > M_u$$

Berikut adalah tahapan merencanakan tulangan geser balok:

1. Menentukan nilai geser ultimit (V_u) berdasarkan hasil analisa di SAP 2000
2. Menghitung kekuatan geser beton dan kekuatan geser beton yang direduksi untuk mengetahui diperlukan tulangan geser, dengan nilai faktor reduksi 0,75.
 - $V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$
 - ϕV_c
 - $0,5 \phi V_c$

Jika dari ketiga persamaan di atas ada yang kurang dari nilai V_u , maka dibutuhkan tulangan geser untuk mengatasi geser dan menambah keamanan struktur.

3. Jika membutuhkan tulangan geser, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung gaya geser nominal dengan rumus sebagai berikut:

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

4. Menghitung Luas tulangan Sengkang (A_s), $\frac{1}{4} \pi d^2$
5. Menghitung nilai luas tulangan geser yaitu, $2 \times A_s$
6. Menentukan jarak sengkang maksimum dengan rumusan sebagai berikut:

$$S_{maks} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

7. Menentukan jarak minimum tulangan sengkang dengan tiga ketentuan di bawah sesuai dengan SNI 2847:2019 dan diambil nilai terkecil dari ketiganya.
 - $d/4$
 - 16db
 - 150 mm

2.10.3 Persyaratan Kekuatan Minimum Balok

Dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.5.1 menjelaskan terkait ketentuan untuk kekuatan rencana pada balok struktur. Saat merencanakan balok, harus memenuhi syarat $\phi S_n \geq U$ meliputi sebagai berikut:

1. $\phi M_n \geq M_u$
2. $\phi V_n \geq V_u$
3. $\phi T_n \geq T_u$
4. $\phi P_n \geq P_u$

Nilai ϕ dapat ditentukan dari SNI 2847:2019 Pasal 21.2.1 terkait Faktor Reduksi Kekuatan berdasarkan gaya dan elemen struktur, sebagaimana tercantum dalam tabel 2.19 di bawah ini.

Tabel 2. 22 Faktor Reduksi Kekuatan

(Sumber : SNI 2847:2019)

Gaya atau Elemen Struktur	ϕ	Pengecualian
Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 (Pasal 21.2.2)	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada Pasal 21.2.4
Torsi	0,75	-
Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-
<i>Bracker</i> dan korbel	0,75	-
<i>Strt, lies</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan struktur <i>and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-

Beton polos	0,60	-
Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 (Pasal 17)	-

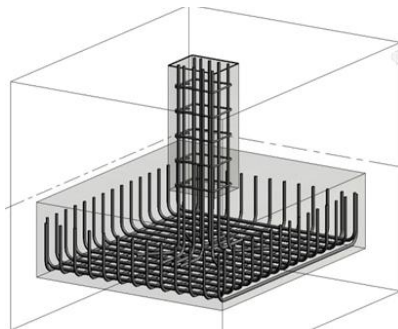
Nilai faktor reduksi kekuatan untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen berdasarkan regangan tarik dan jenis tulangan, sebagaimana dijelaskan dalam tabel di bawah ini (Tabel 2.20).

Tabel 2. 23 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Momen, Gaya aksial atau Kombinasi Momen dan Gaya aksial
(Sumber : SNI 2847:2019)

Regangan Tarik netto (ϵ_r)	Klasifikasi	$\emptyset$			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai SNI 2847:2019 Pasal 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Tegangan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\epsilon_t < \epsilon_{ty} < 0,0005$	Transisi	$\frac{0,75 + 0,15(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	c)	$\frac{0,65 + 0,25(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	d)
$\epsilon_t \geq 0,0005$	Tegangan terkontrol	0,90	e)	0,90	f)

2.11 Perencanaan Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019, kolom merupakan struktur bangunan vertikal, dapat menahan beban tekan aksial dengan ada atau tidaknya gaya momen dan torsi (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Penggunaan kolom sebagai sistem rangka pemikul gaya lateral, dapat memikul gabungan beban tekan aksial, gaya momen, dan gaya geser. Menurut (Nugroho, 2017), bahwa lentur pada kolom tidak terjadi secara langsung dikarenakan tidak adanya beban langsung yang sejajar tegak lurus dengan sumbu kolom.



Gambar 2. 8 Gambar Kolom

(Sumber : Eticon, 2020)

Pada suatu proyek pekerjaan konstruksi, kestabilan suatu bangunan juga sangat dipengaruhi oleh kualitas perencanaan kolom. Hal ini dipengaruhi oleh beban-beban yang diteruskan dari elevasi yang teratas hingga sampai pada kolom dan berakhir di pondasi. Menurut (Elsa, 2023), menurut penelitiannya bahwa keruntuhan yang terjadi pada kolom sangat perlu diperhatikan, hal tersebut dapat mengakibatkan runtuhnya semua elemen bangunan. Karena itu, di dalam perencanaan kolom perlu diperhatikan dengan memberi faktor keamanan yang lebih besar dibanding faktor lainya seperti balok dan pelat.

2.11.1 Klasifikasi Jenis – Jenis Kolom

Pada klasifikasi kolom, disebutkan bahwa kolom terbagi menjadi beberapa kondisi. Di antaranya yaitu berdasarkan jenis penguatan, jenis pemuatan, rasio kelangsingan, bentuk kolom dan bahan konstruksi (Limbongan dkk., 2016)

1) Berdasarkan Kelangsingan Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019, kolom berdasarkan kelangsingannya terbagi menjadi dua, ada kolom pendek dan panjang.

a. Kolom Pendek

Kolom yang bergantung terhadap kekuatan bahan atau material dan tidak terpengaruhi oleh panjangnya disebut dengan kolom pendek (Schodek, 1991). Kolom pendek akan mengalami keruntuhan material ketika menerima beban berlebih dari yang direncanakan. Kelebihan dari kolom pendek ialah, tidak memiliki bahaya tekuk (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Karakteristik dari kolom pendek sebagai berikut:

Tinggi kolom (l) < 3 x dimensi kolom (lebar (b) / panjang (h))

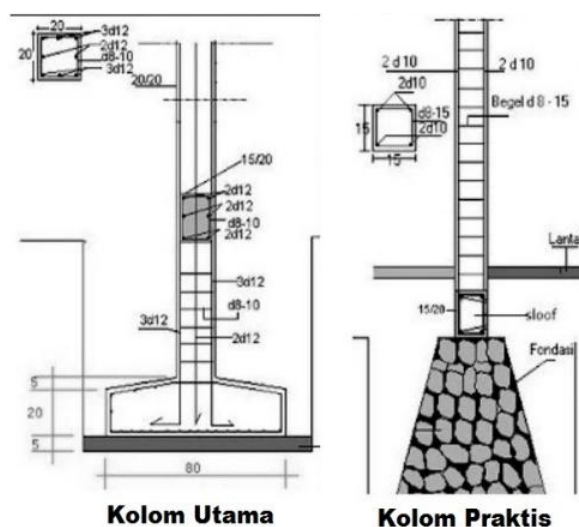
b. Kolom Panjang atau Kolom Langsing

Struktur kolom dapat dikatakan kolom panjang ketika struktur tersebut semakin panjang dan menjadi langsing dikarenakan proporsinya. Berbeda dengan kolom pendek, kolom panjang memiliki potensi bahaya terhadap tekuk. Apabila kolom menerima beban melebihi porsinya, elemen kolom dapat mengalami ketidakstabilan struktur akibat adanya tekuk (Schodek, 1991). Karakteristik dari kolom panjang atau langsing, sebagai berikut:

Tinggi kolom (l) > 3 x dimensi kolom (lebar (b) / panjang (h))

2) Berdasarkan Kegunaan Kolom

Menurut (Riyanto Angghi, 2018), kolom berdasarkan kegunaannya dapat dibagi menjadi dua, kolom induk dan kolom praktis.



Gambar 2. 9 Kolom utama dan kolom praktis

(Sumber : Watukarung Development, 2020)

a. Kolom Induk

Kolom induk merupakan elemen struktur bangunan kolom utama dengan kegunaan menahan beban utama bangunan. Dimensi kolom induk memiliki ketentuan tetap sendiri sesuai dengan jenis bangunan (Riyanto Angghi, 2018).

b. Kolom Praktis

Elemen kolom praktis, dapat digunakan sebagai struktur pembantu kolom utama. Posisi kolom praktis, biasanya berada di antara kolom utama (Riyanto Angghi, 2018)

3) Berdasarkan Jenis Penguatan

a. Tulangan Senggang Persegi

Jenis ini biasanya dibuat dengan menggunakan beton bertulang dengan jarak yang rapat dan berbentuk persegi atau bujur sangkar. Karena itu, jika jarak ikatan yang dibuat berjauhan maka kolom akan mengalami keruntuhan dan dapat meluncur pada area ikatan.

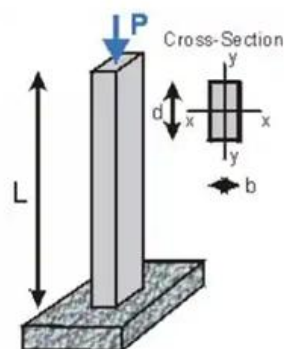


Gambar 2. 10 Kolom Persegi dengan Tulangan Senggang Persegi

(Sumber : Eticon, 2020)

4) Berdasarkan Jenis Pemuatan

a. Kolom Bermuatan Aksial



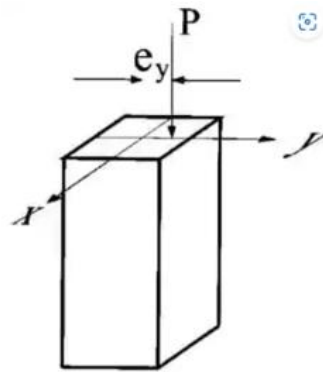
Gambar 2. 11 Kolom Bermuatan Aksial

(Sumber : Eticon, 2020)

Bekerja pada beban aksial di pusat gravitasi yang bermuatan aksial. Di dalam proyek konstruksi, biasanya jarang terjadi karena beban vertikal yang bekerja tidak praktis.

b. Kolom Bermuatan Eksentrik Unaksial

Bekerja secara eksentrik di penampang kolom X dan Y. Kolom jenis ini sering dijumpai di balok kolom yang kaku pada satu sisi kolom tersebut. Beban yang bekerja tidak terhimpit oleh titik berat.



Gambar 2. 12 Kolom Bermuatan Unaksial

(Sumber : Eticon, 2020)

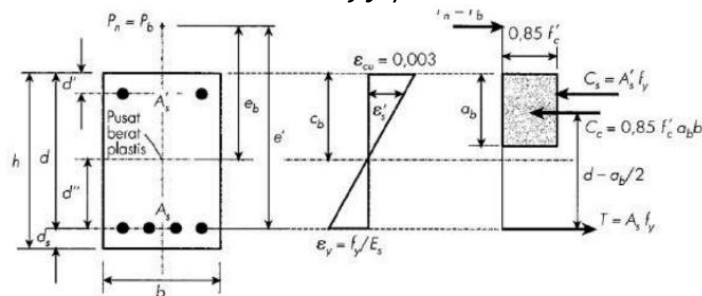
2.11.2 Keruntuhan Pada Penampang Kolom

Berikut adalah macam-macam keruntuhan struktur yang terjadi pada penampang kolom:

a. Keruntuhan Seimbang

Keruntuhan seimbang terjadi saat beban P_b pada penampang kolom memiliki regangan terhadap beton senilai 0,003, bersamaan dengan terjadinya luluh pada tulangan baja dengan regangan sebesar :

$$\epsilon = fy / Es.$$



Gambar 2. 13 Kolom dengan Keruntuhan Seimbang

(Sumber : Eticon, 2020)

b. Keruntuhan Tarik

Ketika terjadi keruntuhan tarik pada penampang kolom, nilai tegangan baja (f_s) sama dengan tegangan leleh pada beton (f_y).

c. Keruntuhan Tekan

Jika gaya tekan (P_u) lebih besar dari gaya tekan pada kesetimbangan atau jika nilai eksentrisitas (e) lebih kecil dari eksentrisitas pada kesetimbangan, maka terjadi keruntuhan tekan.

2.11.3 Syarat Batasan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 terkait Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, bahwa desain kolom memiliki beberapa aturan yang wajib diikuti pada Pasal 18.7.2.1, sebagai berikut:

1. Jika diukur dari garis lurus pusat geometri, maka minimal dimensi penampang terkecil ialah 300 mm atau:

$$b \geq 300\text{mm}$$

2. Perbandingan minimum dimensi penampang terkecil dengan dimensi vertikalnya harus lebih besar dari 0,4 atau:

$$\frac{\text{dimensi terkecil}}{\text{dimensi tegak lurus}} \geq 0,4$$

3. Untuk kolom desain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, berfokus untuk menahan gaya lentur, aksial dan juga geser.
4. Beban aksial yang ditahan oleh kolom lebih besar dari $A_g f'_c/10$

Kemudian, untuk merencanakan dimensi kolom harus memenuhi persyaratan persamaan di bawah ini dengan asumsi tinggi balok sama dengan lebar balok:

$$h_{\text{kolom}} / I_{\text{kolom}} > L_n \text{ Balok} / I_{\text{balok}}$$

Keterangan :

h_{kolom} = tinggi kolom

I_{kolom} = inersia kolom = $1/12bh^3$

$L_n \text{ balok}$ = bentang bersih balok

I_{balok} = Inersia balok = $1/12bh^3$

2.11.4 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom

Elemen struktur kolom menerima beban secara vertikal dari balok sehingga beban yang diterima oleh kolom dapat disebut dengan beban aksial. Agar kolom mampu menahan beban yang ada, perlu diperhitungkan jumlah beban yang akan terjadi kemudian besarnya harus lebih kecil dibandingkan dengan kuat aksial nominal kolom. Pernyataan ini didukung oleh SNI 2847:2019 Pasal 10.3.6.2 dengan rumus kuat aksial nominal kolom di bawah ini:

$$P_n = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Keterangan:

F'_c = Kuat tekan beton

A_g = Luas Penampang bruto kolom

A_{st} = Luas tulangan longitudinal

F_y = Kuat leleh baja tulangan

Setelah didapatkan nilai kuat aksial nominal kolom, maka harus memenuhi syarat persamaan di bawah ini.

1. $\phi P_n \geq P_u$ untuk ketahanan terhadap beban aksial
2. $\phi M_n \geq M_u$ untuk ketahanan terhadap momen
3. $\phi V_n \geq V_u$, untuk ketahanan terhadap geser
4. $\phi T_n \geq T_u$ untuk ketahanan terhadap torsi

Koefisien ϕ (Faktor Reduksi Kekuatan) berdasarkan gaya atau elemen struktur dapat dilihat di bawah ini berdasarkan tabel 21.2 pada SNI 2847-2019.

Tabel 2. 24 Faktor Reduksi Kekuatan

(Sumber : SNI 2847:2019)

Gaya atau Elemen Struktur		ϕ	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 (Pasal 21.2.2)	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada Pasal 21.2.4

c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e)	Zona angkur pascatarik (post-tension)	0,85	-
f)	<i>Bracker</i> dan korbél	0,75	-
g)	<i>Strt, lies</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan struktur <i>and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i)	Beton polos	0,60	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 (Pasal 17)	-

Tabel 2. 25 Faktor Reduksi Kekuatan Berdasarkan Regangan Tarik

(Sumber : SNI 2847:2019)

Regangan Tarik netto (<i>er</i>)	Klasifikasi	$\emptyset$			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai SNI 2847:2019 Pasal 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$	Tegangan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\varepsilon_t < \varepsilon_{ty} < 0,0005$	Transisi	$\frac{0,75 + 0,15(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	c)	$\frac{0,65 + 0,25(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	d)
$\varepsilon_t \geq 0,0005$	Tegangan terkontrol	0,90	e)	0,90	f)

2.11.5 Syarat SCWB

Strong Column Weak Beam, Pada SNI 2847:2019 Pasal 12.6.2 dikatakan bahwa momen kapasitas kolom harus lebih besar dibandingkan momen kapasitas balok. Berikut persamaan dari SCWB:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

Adanya persamaan ini biasa dipakai untuk desain struktur tahan gempa, dimana ketika terjadi gempa, balok akan terlebih dahulu rusak dibandingkan kolom. Hal

ini, didukung oleh pernyataan jika terjadi kerusakan pada kolom maka akan menyebabkan keruntuhan atau kegagalan struktur bangunan.

Untuk nilai M_{nc} ditentukan dari beban aksial yang menghasilkan momen lentur pada kolom. Sedangkan untuk M_{nb} , ditentukan dari momen lentur positif maupun negatif balok yang terhubung pada kolom (Payusa dkk., 2024)

2.11.6 Syarat Tulangan Kolom

Untuk tulangan pada kolom mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4 terkait Tulangan Longitudinal dan Pasal 18.7.5 terkait Tulangan Transversal. Berikut adalah penjelasan lebih detail terkait syarat kedua tulangan tersebut.

2.11.6.1 Tulangan Longitudinal

Berdasarkan Pasal 18.7.4, adanya batas bawah luas tulangan longitudinal dimaksudkan untuk mengurangi deformasi yang terjadi dalam jangka waktu yang lama dan memastikan bahwa elemen kolom memiliki kekuatan lentur yang cukup, atau momen leleh, melebihi momen retaknya. Sedangkan, batas atas luas tulangan longitudinal mengacu pada kerapatan tulangan, tegangan geser yang lebih tinggi, dan transfer beban dari pelat lantai ke kolom. Berikut adalah ketentuan tulangan longitudinal pada kolom sesuai SNI 2847:2019:

Dikatakan dalam Pasal 18.7.4.1 bahwa luas tulangan longitudinal (A_{st}) tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ dan tidak lebih dari $0,06 A_g$.

$$0,01 A_g \leq A_{st} \leq 0,06 A_g$$

Keterangan:

A_{st} = Luas tulangan longitudinal

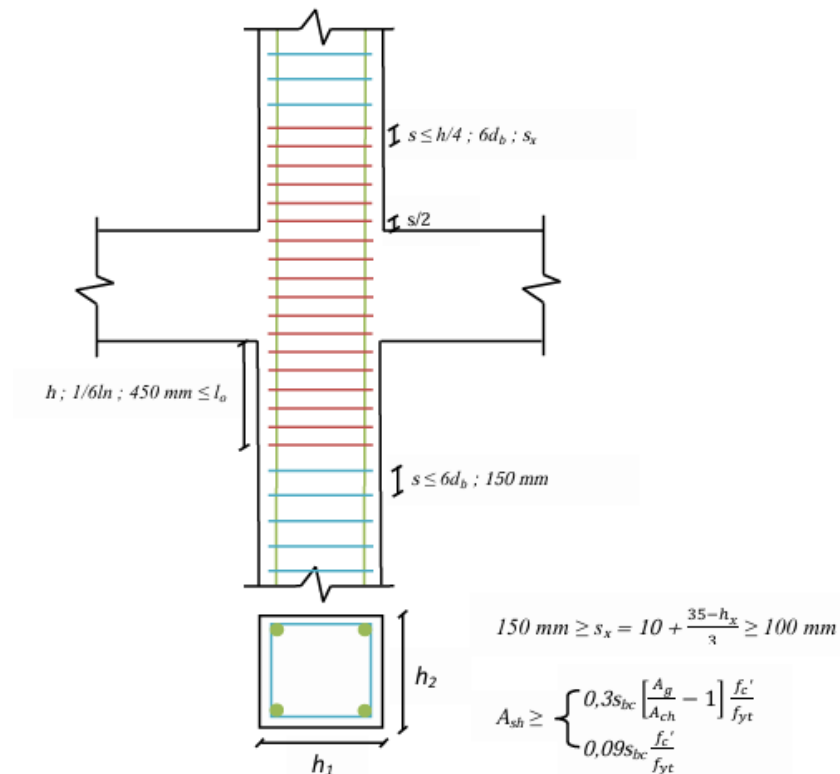
A_g = Luas bruto penampang kolom

2.11.6.2 Tulangan Transversal

Berdasarkan Pasal 18.7.5, tulangan transversal berfungsi untuk membantu pengekan beton dan menambah aksi dalam menahan beban lateral. Berikut adalah syarat tulangan transversal pada kolom sesuai SNI 2847:2019:

1. Pada daerah yang memiliki potensi sendi plastis, perlu dipasang tulangan transversal dengan ketentuan sebagai berikut :

- Di sepanjang lo hubungan balok-kolom di setiap muka kolom
 - Di sepanjang lo di kedua sisi pada setiap penampang yang memiliki potensi membentuk sendi plastis yang diakibatkan oleh deformasi lateral inelastis pada struktur rangka
 - Pada daerah sambungan lewatan tulangan longitudinal kolom.
 - Sejauh 300mm ke dalam kepala pondasi.
2. Ketentuan panjang lo harus memenuhi persyaratan tidak boleh kurang dari :
 - 1) h
 - 2) $1/6 l_n$
 - 3) 450 mm
 3. Pada Pasal 18.7.5.2, jarak maksimum tulangan sengkang berdasarkan tiga ketentuan di bawah dan mengambil nilai terkecil dari:
 - 1) $150 \text{ mm} \geq 100 + \frac{350-hx}{3} \geq 100 \text{ mm}$
 - 2) $1/4$ dari dimensi terkecil kolom
 - 3) 6d tulangan longitudinal
 4. Minimum diameter Sengkang, diatur dalam Pasal 25.7, sebagai berikut:
 - 1) Minimum diameter 10 mm
 - 2) Minimum diameter sengkang $\geq 1/4$ diameter longitudinal
 5. Apabila P_u melebihi $A_g f_c'/10$ maka perlu diperbesar menjadi $A_g f_c'/4$



Gambar 2. 14 Syarat Pengekangan Sengkang Tertutup Kolom

(Sumber : Ambarwati, 2017)

2.11.6.3 Hubungan Balok dan Kolom

Hubungan antara balok-kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.8 yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Adapun persyaratan yang dapat diperhatikan antara lain :

- 1) Tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan asumsi tegangan pada tulangan tarik lentur $1,25f_y$. Tercantum dalam *SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.1*.
- 2) Rasio minimum ke dalam kolom terhadap diameter maksimum tulangan longitudinal balok yaitu harus melebihi dari $20d_{b \text{ balok}}$ untuk beton normal dan $26d_{b \text{ balok}}$ untuk beton ringan. Tercantum dalam *SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3*.
- 3) Faktor reduksi dipakai sebesar 0,8.

Pada tulangan transversal joint harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1 yang dapat diuraikan sebagai berikut :

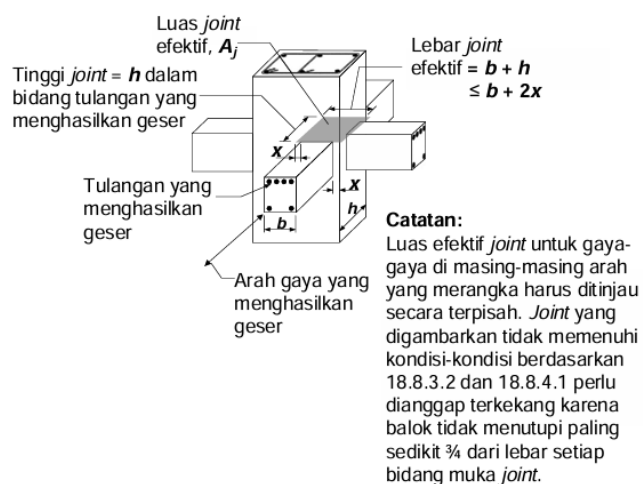
- 1) Jika $b_{\text{balok}} = \frac{3}{4} b_{\text{kolom}}$ maka tulangan transversal perlu dipasang setengah dari yang dipasang pada sendi plastis kolom. Dengan jarak spasi yang ditingkatkan menjadi 150mm yang dipasang dari sisi terbawah balok menuju daerah hubungan tersebut. Tercantum dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.2.
- 2) Tulangan transversal seperti Sengkang tertutup wajib dipasang di daerah hubungan balok-kolom yang memungkinkan terjadi slip selama serangkaian momen bolak-balik yang besar.

Kekuatan geser (V_n) juga diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 seperti yang terlihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 26 Kekuatan Geser Nominal Joint

(Sumber : SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1)

Konfigurasi <i>Joint</i>	V_n
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya ^[1]	$1,7\lambda\sqrt{f'_c} A_j^{[2]}$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan ^[1]	$1,2\lambda\sqrt{f'_c} A_j^{[2]}$
Untuk kasus-kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f'_c} A_j^{[2]}$



Tabel 2. 27 Luas Joint Efektif

(Sumber : SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4)

2.11.6.4 Tulangan Torsi

Pada SNI 2847:2019, dikatakan jika nilai momen puntir pada struktur yang dibebani gaya tarik atau tekan aksial kurang dari persamaan berikut, pengaruh puntir dapat diabaikan.

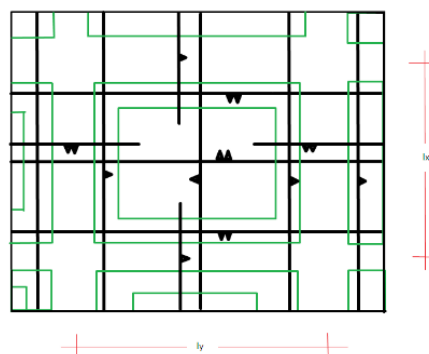
$$T_n = \phi 0,33 \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + Nu/0,33\sqrt{f'c}}$$

2.12 Perencanaan Pelat Lantai dan Atap

Pelat merupakan komponen struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan beban bangunan dan menyalurkannya ke balok dan kolom disebut dengan pelat. Pembagian pelat terbagi dua, ada pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat satu arah hanya ditumpu pada dua sisi yang berbeda dan berlawanan, dan pelat dua arah ditumpu di keempat sisi.

Pada dasarnya perencanaan pelat atap dan pelat lantai sama, hanya berbeda pada beban yang bekerja. Beban pada pelat lantai memiliki beban lebih besar dibandingkan dengan beban pada pelat atap. Berdasarkan SNI 2847:2019 dimensi pelat dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

- a. $L_y / l_x > 2$, Jika bentang pada sumbu y dibagi dengan bentang pada sumbu x menghasilkan nilai lebih dari dua, maka dapat menggunakan pelat satu arah.
- b. $L_y / l_x < 2$, jika bentang pada sumbu y dibagi dengan bentang pada sumbu x menghasilkan nilai kurang dari dua, maka dapat menggunakan pelat dua arah.



Gambar 2. 15 Pelat Lantai

(Sumber : Sanggapramana, 2010)

Setelah menentukan penggunaan pelat satu atau dua arah, dapat menentukan tebal pelat berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 pada tabel 4.12 Ketebalan Minimum Pelat Nonprategang sebagai berikut:

Tabel 2. 28 Ketebalan pelat minimum

(Sumber : SNI 2847:2019)

Kondisi Tumpuan	Minimum h
Perletakan Sederhana	$l/20$
Menerus Satu Sisi	$l/24$
Menerus Dua Sisi	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Tabel 2.26 dapat digunakan untuk nilai tegangan leleh (f_y) sebesar 420 Mpa, jika lebih maka harus dikalikan dengan $0,4 + f_y/700$.

2.12.1 Penulangan Pelat

Pada penulangan pelat, momen terfaktor akibat momen pada ujung sudut pelat (M_u) di desain searah tegak lurus dengan garis sumbu sudut pelat atas, dan di desain agar sejajar dengan sumbu diagonal sudut pelat bawah. Saat merencanakan luasan tulangan pelat, dilakukan pengecekan perbandingan atau rasio tulangan menggunakan persamaan $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$. Momen terfaktor yang terjadi pada penampang kritis pelat memiliki syarat sesuai dengan SNI 2847:2019, bahwa minimal luar kotor penampang pelat ialah 0,0014. Jarak antar tulangan dari pusat ke pusat tulangan harus lebih kecil dari dua kali desain tebal pelat. Adanya kontrol batasan tulangan pelat, agar mengetahui reaksi dari pelat dalam mengontrol retakan yang terjadi. Berikut adalah tahapan perencanaan tulangan pada pelat:

1. Menentukan nilai Momen Nominal (M_n) yang di dapat dari hasil analisa SAP 2000 dan Momen Nominal (M_n) yang telah direduksi, dengan nilai faktor reduksi yaitu 0,8.
2. Menentukan koefisien ketahanan momen (R_n)
3. Menentukan rasio tulangan (ρ)
4. Menentukan rasio tulangan yang dibutuhkan (ρ_{perlu})
5. Menentukan kebutuhan tulangan (A_s)
6. Cek kapasitas penampang, dengan syarat:

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} \text{ dan } \Phi M_n = \Phi \cdot A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) > \text{Momen Ultimit (Mu)}$$

2.13 Perencanaan Dinding Struktural Khusus

Persyaratan dimensi dan pendetailan dari dinding struktural khusus diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.10 dengan uraian yang dijelaskan sebagai berikut :

1) Syarat Penulangan :

Rasio tulangan badan terdistribusi ρ_l dan ρ_t pada dinding tidak boleh kurang dari 0,0025 kecuali jika nilai V_u tidak melebihi $0,083 A_{cv} \cdot \tau \cdot \sqrt{f_c'}$ dan spasi tulangan pada masing-masing arah dinding geser tidak boleh melebihi 450mm yang berpedoman pada SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1

2) $V_u > 0,17 A_{cv} \cdot \tau \cdot \sqrt{f_c'}$ atau $h_w/l_w \geq 2$ maka perlu digunakan 2 lapis tulangan

Keterangan :

h_w = total tinggi dinding geser

l_w = panjang dinding geser

Persyaratan tulangan dua lapis tulangan bertikal pada dinding yaitu bertujuan untuk meningkatkan stabilitas lateral pada daerah tekan akibat beban siklik yang menyebabkan pelelehan tulangan tarik vertikal. Hal tersebut tercantum dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2

3) Kekuatan Geser :

Dirumuskan $V_n < A_{cv} (a_c \tau \sqrt{f_c'} + \rho_t \cdot f_y)$, dengan nilai V_u diperoleh dari analisis beban lateral dengan menggunakan kombinasi beban terfaktor. Dimana koefisien a_c dipakai 0,25 untuk $h_w/l_w \leq 1.5$ dan dipakai 0,17 untuk $h_w/l_w \geq 2$.

4) Desain untuk Beban Lentur dan Aksial :

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.5.1 diuraikan jika beton dan tulangan longitudinal yang terangkur dengan baik dalam lebar efektif sayap, elemen batas, dan badan dinding dianggap efektif dalam mengalami kombinasi beban lentur dan aksial. Lebar efektif perlu diperlebar dari muka badan dinding sejauh sama dengan nilai terkecil antara setengah jarak antara badan dinding-dinding yang bersebelahan dan 0,25 dari total tinggi dinding yang sedang ditinjau.

1) Elemen Batas Dinding Struktural Khusus

Elemen batas khusus adalah daerah tepi-tepi sekeliling dinding yang dimana terjadi tegangan tekan serat ekstrim maksimum akibat kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa. Tinggi elemen batas khusus ditentukan dari estimasi panjang sendi plastis dan melampaui daerah terjadinya kelelahan pada tulangan tarik dan pengelupasan beton (*spalling*).

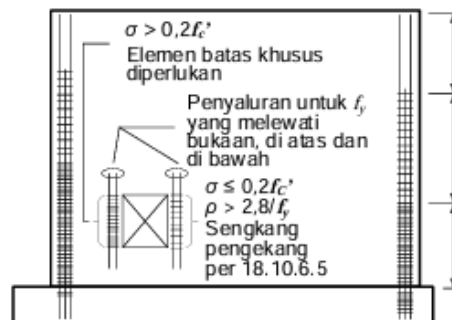
Kebutuhan elemen batas khusus diisyaratkan dengan uraian berikut :

- Kombinasi gaya aksial terfaktor dan momen yang bekerja pada dinding geser lebih besar dari :

$$\frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu_y}{I} > 0,2 f_c'$$

- Jarak c pada serat terluar lebih besar dari :

$$c \geq \frac{lw}{600 + \frac{\delta u}{hw}} \text{ dengan nilai } \frac{\delta u}{hw} \text{ tidak boleh kurang dari } 0,007$$



Gambar 2. 16 Elemen Batas Khusus Dinding Geser

(Sumber : SNI 2847:2019 Pasal 8.10)

- Jika dalam perhitungan, komponen batas khusus diperlukan maka harus memenuhi persyaratan seperti berikut :
 - 1) Komponen batas khusus dipasang menerus dengan jarak tidak kurang dari $(c-0,1lw)$ dan $c/2$ dari sisi terluar serat tekan.
 - 2) Tulangan transversal dipasang sesuai dengan persyaratan untuk kolom.

- 3) Tulangan horizontal pada badan dinding, diangkur ke dalam komponen batas supaya tulangan horizontal dapat mengembangkan kuat lelehnya (f_y).
 - 4) Dipasang pada daerah lebar efektif bersayap dengan panjang menerus sepanjang 300mm.
- Jika dalam perhitungan, komponen batas khusus tidak diperlukan maka harus memenuhi persyaratan seperti berikut :
- 1) Diperlukan tulangan transversal bila rasio tulangan utama tepi pada dinding lebih besar dari $2,8/f_y$ dengan jarak spasi tidak melebihi 200mm
 - 2) Bila V_u memiliki nilai lebih kecil dari $0,83 A_{cv} f_c$ maka perlu dipasang kait yang berfungsi untuk mengaitkan pada tulangan tepi dengan ukuran dan spasi yang sama dengan tulangan horizontal.

2.14 Perencanaan Tangga

Elemen vertikal bangunan yang memiliki kegunaan untuk akses dari lantai satu ke lantai lainnya disebut tangga. Tidak hanya sebagai akses, tangga juga bisa menjadi bagian dari integral sistem struktur bangunan, khususnya dalam mendistribusikan beban gempa. Sehingga, perencanaan tangga juga harus dipertimbangkan dalam hal kemampuan, kekuatan serta kekakuan sesuai persyaratan dalam SNI 2847:2019.

Aspek yang perlu diperhatikan dalam merencanakan tangga beton bertulang ialah *riser* (dimensi anak tangga), *tread* (lebar injakan), penulangan serta kemiringannya. Tangga juga dirancang agar dapat menahan beban yang bekerja di atasnya, seperti beban mati dan hidup. Perencanaan tangga beton bertulang tidak berbeda dari perencanaan elemen struktur, untuk tinggi *riser* tangga berkisar antara 15 cm hingga maksimal berada di angka 20 cm. Untuk lebar anak tangga memiliki lebar ideal yang berkisar 25 hingga 30 cm. Serta untuk kemiringan tangga tersebut berkisar 24-45 derajat . Adanya angka-angka ideal tersebut untuk memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna bangunan.

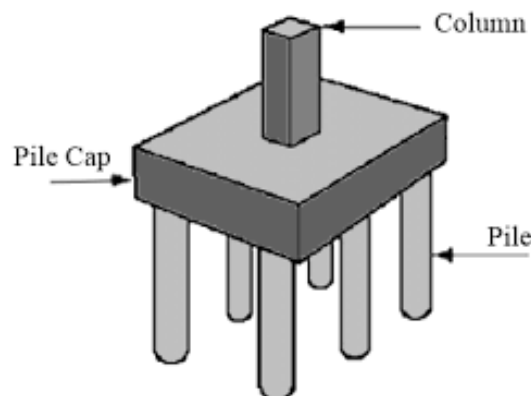
2.15 Perencanaan *Pile cap*

Pile cap ialah salah satu elemen dari pondasi tiang pancang, berguna sebagai penutup tiang pondasi bangunan untuk menyalurkan beban dari kolom ke tiang pondasi lalu diteruskan ke dalam tanah. *Pile cap* dalam sebuah bangunan menjadi elemen penting karena akan memengaruhi kekuatan dan kestabilan dari struktur bangunan tersebut (Sedayu dkk., 2019).

Perencanaan *Pile Cap* merupakan salah satu perencanaan paling penting dalam suatu proyek pekerjaan konstruksi, karena *pile cap* sendiri mempunyai fungsi untuk menerima dan meneruskan beban yang diterima dari tiang atau kolom ke pondasi terdalam guna mengurangi beban atau tekanan yang diterima oleh pondasi agar tidak terjadinya kegagalan pada suatu konstruksi.

Pile cap sendiri juga memiliki peranan lain yang sangat penting yaitu juga dapat mengkokohkan serta menghubungkan tiang supaya struktur menjadi kokoh dan stabil.

Peraturan untuk perencanaan *pile cap*, terdapat dalam SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Dikatakan bahwa setiap tiang harus menyatu satu sama lain sesuai dengan pasal 7.13.7.2. Maka dari itu, *pile cap* diciptakan demi mengikat tiang pondasi satu sama lain.



Gambar 2. 17 Pilecap

(Sumber : <https://www.machinesl.com/>, 2021)

2.15.1 Jenis – Jenis *Pile cap*

Berikut adalah jenis-jenis dari *pile cap*:

a. *Pile Cap* berbentuk T

Jenis *pile cap* ini digunakan jika terdapat dua jenis tiang yang berdekatan. Distribusi beban yang dialirkan juga menjadi lebih baik dengan kestabilan tambahan yang dimiliki. Seperti dengan nama nya, *pile cap* ini memiliki bentuk seperti huruf T yang terbalik.

b. *Pile Cap* berbentuk Persegi

Jenis *pile cap* ini umum digunakan dalam pekerjaan kontruksi. Dengan memiliki bentuk yang persegi dapat digunakan dalam kondisi tiang yang berdekatan dimana tiang tersebut memiliki pola tertentu. Distribusi yang dilakukan *pile cap* jenis ini yaitu dari tiap ujung dan secara merata ke seluruh bagian.

c. *Pile Cap* Tunggal

Jenis *pile cap* ini memiliki bentuk yang sederhana sehingga sering dijumpai dalam perencanaan struktur yang memiliki beban yang ringan dan sedang. Distribusi dari jenis *pile cap* ini yaitu menjadi penghubung dari tiang tunggal yang jaraknya berdekatan.

d. *Pile Cap* Bersama

Jenis *pile cap* ini dibuat sebagai pemenuhan jika di dalam suatu struktur beban yang diterima pada tiap ujung, sehingga titik akhir diteruskan nya ke pondasi. *Pile cap* Bersama ini sering dijumpai pada beberapa tiang yang bertemu di satu titik.

2.15.2 Tahapan Perencanaan *Pile cap*

Berikut adalah beberapa tahapan dalam merencanakan *pile cap*:

1. Tahapan awal yaitu merencanakan struktur dan menganalisis beban yang bekerja secara keseluruhan. Hal ini berpengaruh pada perhitungan mengenai dimensi dan jumlah tiang *pile cap* yang dibutuhkan.
2. Tahap kedua yaitu setelah perencanaan maka ada pemilihan tipe dan jenis *pile cap*, dimana dalam pemilihan ini perlu adanya pertimbangan mengenai beban serta kondisi di lapangan.

3. Selanjutnya ada perancangan geometri *pile cap*, dimana desain yang akan dibuat harus menggunakan standar keamanan yang ada.
4. Desain tulangan, diletakkan di dalam *pile cap* guna memperkuat struktur serta beban yang dapat dialirkan.
5. Di tahap perencanaan, menganalisis daya dukung tanah sangatlah penting. Adanya analisis pada tanah, dapat mengetahui mengenai penurunan tanah dan potensi kegeseran.
6. Analisis stabilitas, difungsikan agar dapat mengetahui jika *pile cap* dapat menahan beban yang dapat diantisipasi.
7. Tahap terakhir yaitu pembuatan rencana konstruksi secara rinci.

2.16 Perencanaan Pondasi

Perencanaan pondasi merupakan komponen penting di dalam pembangunan proyek konstruksi, dimana daya dukung minimum yang dihasilkan dapat menunjukan baik atau tidak nya lokasi tersebut untuk di dirikan suatu bangunan (Bowles, 1996). Di dalam pemilihan jenis pondasi, terdapat beberapa kondisi yang harus diperhatikan, yaitu:

1. **Keadaan tanah.** Jenis tanah di tiap lokasi proyek konstruksi memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Sehingga hal itu sangat berpengaruh di dalam pemilihan jenis pondasi, karena di tiap tipe jenis pondasi memiliki mekanisme serta cara penyaluran beban yang berbeda untuk setiap kondisi nya. Kedalaman tanah keras, parameter tanah serta jenis tanah merupakan faktor tanah yang harus diperhitungkan.
2. **Batasan struktur atas bangunan.** Kondisi struktur atas suatu bangunan yang meliputi arah gaya, beban-beban yang bekerja, dan penyebaran serta pendistribusian beban dari atas ke bawah harus diperhitungkan.
3. **Keadaan lingkungan.** Batasan di dalam lingkup lingkungan proyek merupakan suatu hal yang sangat riskan. Dimana di dalam pembangunan proyek harus memperhatikan lingkungan serta keadaan sekitar, yang diharapkan dalam pembangunannya tidak mengganggu dan membahayakan bangunan dan lingkungan yang di sekitar proyek yang sedang dikerjakan.

4. **Biaya dan waktu.** Faktor ini juga sangat penting, karena termasuk di dalam manajemen pembangunan proyek konstruksi untuk mencapai pembangunan yang tepat guna, tepat biaya dan tepat waktu dalam kondisi yang ekonomis dan efisien. .

2.16.1 Perhitungan Pondasi

Berdasarkan SNI 1726-2019 terkait Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, daya dukung pondasi akibat beban kerja harus diambil angka lebih kecil dari nilai berikut:

1. Ketika terjadi keruntuhan, diambil kapasitas maksimum tanah dengan faktor keamanan yang cukup.
2. Nilai penyebab deformasi pondasi akibat beban yang diberikan selalu berada dalam batas yang diizinkan bangunan yang sedang dibangun atau sekitarnya.

Untuk dimensi tiang pondasi, tiang harus dapat menahan berbagai deformasi seperti regangan tanah tanpa struktur, pergerakan tanah akibat gempa dan deformasi yang disebabkan oleh tahanan lateral tiang terhadap gaya gempa struktur. Berikut adalah rumus perhitungan daya dukung aksial tiang Tunggal dengan metode *Meyerhoff* :

$$Q_{ult} = Q_c \times B (1 + D/B) \times 1/40$$

Keterangan:

Q_c = Nilai Conus

B = Lebar Pondasi (dianggap 1 meter)

D = Kedalaman Dasar Pondasi

Jika sudah mendapat nilai daya dukung ijin tanah, dapat dilanjutkan dengan menghitung :

$$q = q_{ult} / SF$$

Keterangan:

q = Daya Dukung Ijin Tanah

q_{ult} = Daya dukung tanah ultimit

Sf = Faktor Keamanan (biasanya diambil nilai 3)

Daya dukung tanah juga dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini jika nilai lebar pondasi masih belum ditentukan secara pasti :

$$q = q_c / 40$$

Keterangan:

q = Daya dukung ijin tanah

q_c = Nilai konus

Untuk menentukan daya dukung pondasi dalam, dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$P = q_c \times A/3 + JHF \times O/5$$

Keterangan:

P = Daya dukung tiang

Q_c = nilai konus

A = Luas enampang tiang

JHF = Nilai hambatan lekat per pias

O = Keliling tiang

3 & 5 = Koefisien Keamanan

2.17 SP Column

Dalam mendesain tulangan kolom, dapat menggunakan SPColumn sebagai program bantu perhitungan jumlah tulangan utama (Fadlan, 2025). SPColumn bekerja dengan mengacu pada kode desain ACI 318-19 dan CSA A23.3-19. Selain merencanakan penampang yang beraturan, SPColumn juga memiliki kelebihan untuk mendesain penampang yang tidak beraturan (*SPColumn*, 2020) Cara kerja dari SPColumn sendiri ialah dengan memasukkan beban, dimensi penampang, jumlah dan diaemeter penampang. Kemudian, untuk bentuk penempatan penulangan juga dapat ditentukan sendiri oleh perancang, lalu SPColumn akan menghasilkan diagram interaksi momen penampang, menunjukkan apakah aman atau tidak (*SPColumn*, 2020).

2.18 Penjadwalan Proyek

Sebelum dilaksanakannya sebuah proyek, perlu melewati beberapa tahap untuk menghasilkan manajemen proyek yang efektif dan efisien. Salah satunya ialah

adanya tahap penjadwalan proyek. Selain membuat sebuah jadwal tersusun, adanya penjadwalan dapat mengetahui perkembangan proyek (Saputri dkk., 2020)

Penjadwalan proyek merupakan informasi mengenai rencana waktu keberjalanan proyek serta perkembangan sumber daya proyek mulai dari tenaga kerja, biaya dan peralatan material yang berasal dari hasil perencanaan untuk menyelesaikan proyek (Hutagaol, 2019). Sistem penjadwalan yang tepat akan menciptakan lingkungan kerja proyek yang baik. Maka dari itu penjadwalan menjadi hal penting dalam perencanaan manajemen proyek (Suparno, 2016). Dalam istilah proyek konstruksi, penjadwalan ialah penentuan segala aktivitas proyek selama kurun waktu tertentu demi menyelesaikan suatu proyek tepat waktu (Parung dkk., 2021)

Menurut PUPR (2017), penjadwalan proyek memiliki banyak manfaat dan fungsi, yaitu dapat mengetahui berapa lama proyek tersebut akan terlaksana hingga selesai, untuk merencanakan kemajuan sebuah proyek, sebagai dasar dalam penentuan penjadwalan sumber daya proyek lainnya. Manfaat penjadwalan proyek bagi pemilik ialah dapat merencanakan aliran kas serta melakukan evaluasi terhadap waktu dan biaya pelaksanaan proyek. Selain itu, adanya penjadwalan proyek juga dapat mengurangi adanya konflik antar sub-kontraktor dengan pekerja. Untuk memudahkan evaluasi proyek di akhir, hubungan antar aktivitas proyek dan susunannya harus dibuat secara rinci dan detail (Saputra dkk., 2021). Pembuatan penjadwalan proyek dapat dilakukan oleh seseorang yang ahli dalam bidang tersebut, diutamakan oleh seorang yang memiliki sertifikasi keahlian penjadwalan (Saputra dkk., 2021).

2.19 Perencanaan RAB

2.19.1 Definisi RAB

Sebuah proyek tidak akan berjalan tanpa adanya biaya. Biaya konstruksi menjadi aspek penting untuk keberjalanan proyek dan harus dikendalikan agar dapat memenuhi rencana anggaran yang ada serta mendapatkan keuntungan maksimal (Kementrian Pekerjaan Umum, 2017). Untuk mengetahui anggaran yang diperlukan, harus dilakukan perencanaan anggaran biaya.

Menurut (Kementrian Pekerjaan Umum, 2017), aktivitas mengalokasikan biaya terhadap kegiatan yang telah terintegrasi dengan jadwal disebut penyusunan anggaran biaya proyek. Hasil dari penyusunan ini ialah berupa dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek.

Tujuan RAB menurut (Farabi, 2023), memberikan informasi detail terkait rincian biaya suatu proyek, menjadi sebuah acuan bagi pemerintah pusat ke instansi-instansi daerah dalam melaksanakan proyek, menjadi bahan dasar untuk dilakukannya lelang kontraktor, dan sebagai patokan harga dalam bentuk *Owner Estimate* (OE) yang dibentuk oleh *stakeholders*.

2.19.2 Quantity Take Off (QTO)

Quantity Take-Off (QTO) adalah proses pengukuran serta perhitungan rincian material yang digunakan dalam penyelesaian proyek yang didasarkan atas gambar kerja yang mengacu pada spesifikasi teknis yang telah dibuat (Wiranti dkk, 2023). QTO merupakan bagian penting dari proses penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), estimasi waktu pelaksanaan, serta perencanaan pengadaan material.

Perhitungan QTO di Indonesia masih banyak dilakukan secara konvensional, yang memberikan kemungkinan selisih pada perhitungan (Wiranti dkk, 2023). Oleh karena itu teknologi Building Information Modelling (BIM) menawarkan perhitungan yang lebih efisien melalui pendekatan alternatif dalam kemudahan permodelan 3D dan integrasi data (Ningsih dkk, 2025).

Adapun urutan dalam melakukan perhitungan QTO adalah melakukan klasifikasi elemen pekerjaan, setelah itu membuat deskripsi dari elemen pekerjaan yang telah dibuat. Selanjutnya menentukan dimensi atas pekerjaan dan memberikan beban biaya pada masing-masing elemen pekerjaan yang telah dibuat (Wiranti dkk, 2023). Dengan metode perhitungan QTO yang tepat dapat mendukung perencanaan proyek dari dengan minimalisasi resiko pada kesalahan perhitungan sehingga berdampak pada biaya yang dikeluarkan.

2.19.3 Tahapan Penyusunan RAB

Menurut (Farabi, 2023), berikut adalah tahapan penyusunan anggaran biaya proyek:

- 1) Pengumpulan data lapangan dan melakukan survei terhadap harga pasar terkait kemampuan pasar dalam menyediakan material hingga proyek selesai sesuai dengan gambar kerja.
- 2) Perhitungan volume, dapat dihitung berdasarkan gambar kerja dan akan menghasilkan volume dalam satuan pekerjaan.
- 3) Survei terkait harga upah di dalam maupun luar daerah proyek, jika ada tenaga kerja yang didatangkan dari luar daerah.
- 4) Perhitungan semua anggaran proyek. Mulai dari biaya tenaga kerja, biaya material, serta alat konstruksi.
- 5) Perhitungan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dengan menjumlahkan seluruh harga satuan material dan harga satuan upah. AHSP dibuat berdasarkan analisa satuan pekerjaan dan bobot setiap pekerjaan.
- 6) Rekapitulasi RAB, melakukan penjumlahan setiap item pekerjaan lalu ditotalkan semua hingga mendapat total biaya pekerjaan proyek.