

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BIM (*Building Information Modeling*)

Building Information Modeling (BIM) menyediakan representasi visual yang terperinci dari proyek, sehingga meningkatkan pemahaman terhadap desain dan memfasilitasi deteksi dini terhadap konflik antar disiplin sebelum pelaksanaan konstruksi (Torres dkk., 2025). *Building Information Modeling* melengkapi metode tradisional dengan mengintegrasikan replika digital terperinci proyek konstruksi, yang memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih tepat (Castañeda dkk., 2021).

Kementraian PUPR 2018 dalam modul pembelajarannya menerangkan Permodelan BIM menghasilkan representasi desain model yang dijelaskan sebagai berikut:

1. 3D (Desain 3D)

Modeling tiga dimensi (3D) dalam *Building Information Modeling* (BIM) berperan dalam menampilkan visualisasi eksisting tapak serta menyajikan visualisasi hasil akhir dari proyek konstruksi secara realistis.

2. 4D (*Time/Scheduling*)

BIM 4D merupakan suatu proses perencanaan yang bertujuan untuk mengintegrasikan aktivitas konstruksi yang tercatat dalam jadwal waktu dengan model 3D, dengan tujuan untuk menciptakan simulasi visual waktu nyata terhadap kemajuan konstruksi.

3. 5D (Estimasi Biaya)

Pada tahap desain BIM 5D, penambahan biaya proyek dilakukan terhadap model sehingga pada tahap ini, BIM memberi *output Quantity Take-Off (QTO)* dan biaya estimasi yang menyusun hubungan diantara kuantitas dan biaya.

4. 6D (*Sustainability*)

BIM 6D berfokus pada pengintegrasian keberlanjutan kedalam proyek konstruksi, memungkinkan desain hemat energi, pengurangan limbah, dan penerapan material berkelanjutan di seluruh siklus hidup bangunan.

5. 7D (*Facility Management Application*)

BIM 7D digunakan untuk meningkatkan manajemen fasilitas, meningkatkan penggunaan sumber daya yang efisien, konservasi energi dan mengoptimalkan strategi pemeliharaan.

2.1.1 Aplikasi Perencanaan

Dalam pelaksanaan suatu proyek, perencanaan yang matang menjadi kunci utama keberhasilan, baik dari segi waktu, biaya, maupun mutu. Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan perangkat lunak (*software*) perencanaan menjadi semakin penting untuk mendukung proses tersebut secara efisien dan terstruktur. Berikut aplikasi perencanaan yang digunakan dalam proses perencanaan ulang Gedung Parkir Umum Dinas Teknis Jatibaru:

1. *Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems (ETABS)*

Perangkat lunak *ETABS* digunakan untuk analisis dan desain struktur suatu bangunan. *ETABS* dirancang dengan sistem input, output, dan metode penyelesaian numerik yang secara khusus disesuaikan untuk mengakomodasi karakteristik fisik dan matematis khas dari struktur bangunan (Guleria, 2014) Aplikasi *ETABS* menyediakan analisis statik maupun analisis dinamik untuk berbagai jenis beban gravitasi, thermal, dan lateral.



Gambar 2. 1 Logo *ETABS*

Sumber: <https://images.app.goo.gl/fp2sUj7jkCHFeNqE7>

2. *Autodesk Revit*

Autodesk Revit merupakan jenis *software* BIM yang mendukung standar IFC berbasis XML terbuka, yang dikembangkan oleh organisasi BuildingSMART (Logothetis dkk., 2015). Salah satu tujuan dari *Software Autodesk Revit* adalah menghilangkan sebagian besar tugas yang repetitif yang biasanya dilakukan menggunakan program CAD sehingga pada prosesnya memberikan lebih banyak waktu untuk desain, koordinasi, dan visualisasi yang lebih optimal. Keunggulan utama dari penggunaan *Autodesk Revit* terletak pada fitur deteksi intervensi yang mampu mengidentifikasi potensi konflik antar elemen desain sejak tahap awal, sehingga dapat mengurangi risiko kesalahan konstruksi (Alimin & Taulani, 2023).



Gambar 2. 2 Logo *Autodesk Revit*

Sumber: <https://images.app.goo.gl/nwA9B9aYUinVEyNQ9>

3. *Microsoft Project*

Microsoft Project adalah *software* pengelolaan proyek yang membantu dalam penyusunan jadwal pekerjaan, pengorganisasian, serta penjadwalan kegiatan sebuah proyek konstruksi. Aplikasi ini memiliki berbagai fitur visualisasi jadwal, pengelolaan durasi aktivitas, alokasi sumber daya, dan identifikasi jalur kritis langsung pada *chart* yang tersedia. Aplikasi ini juga menyediakan *work breakdown structure* (WBS), kalender, bagan Gantt, penugasan sumber daya, penyeimbangan sumber daya, *baseline* dari jadwal yang telah disusun, pelacakan proyek, pembuatan laporan, dan lainnya (Desai dkk., 2023). Aplikasi *Microsoft Project* mampu mensimulasikan *Budget at Completion* (BAC) dan *Variance at Completion* (VAC) proyek, yang secara langsung membantu manajer proyek

dalam mengendalikan biaya dan menghindari keterlambatan proyek (Wallecha, 2020).



Gambar 2. 3 *Microsoft Project*

Sumber: <https://images.app.goo.gl/Pkb9wqGnXMEnsArq6>

4. *Autodesk Naviswork*

Autodesk Naviswork adalah aplikasi yang digunakan untuk menggabungkan model 3D dan data desain terkait kedalam satu lingkungan kerja yang digunakan untuk keperluan *design review*, analisis koordinasi, dan simulasi. Dalam penggunaannya, model 3D bangunan yang dioptimalkan membuat pengguna dapat secara interaktif menggabungkan, meninjau, memvisualisasikan, dan menganalisis model tersebut dengan berbagai cara (Rachmawati & Abma, 2022). Simulasi BIM 5D *Autodesk Navisworks* meliputi 3D model konstruksi, *quantity take off* material yang diperoleh dari hasil pemodelan 3D, estimasi biaya yang diperoleh dari volume pekerjaan dikali harga satuan pekerjaan, serta 4D penjadwalan proyek.



Gambar 2. 4 *Autodesk Naviswork*

Sumber: <https://seeklogo.com/vector-logo/616400/navisworks#googlevignette>

Penggunaan aplikasi berbasis BIM sangat dipengaruhi oleh konteks penggunaannya dalam proyek konstruksi serta tingkat pemahaman, keterampilan, dan kebutuhan masing-masing individu atau tim pelaksana. Secara luas, ada banyak jenis aplikasi yang ada dan memiliki karakteristik dan pendekatan tersendiri dalam mendukung proses perencanaan, sehingga pemilihan dan pemanfaatannya harus disesuaikan dengan kompleksitas proyek, tujuan perencanaan, serta integrasi antar-disiplin yang dibutuhkan.

2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem struktur pada bangunan yang dikonsepsikan khusus untuk mengakomodasi beban lateral akibat gaya dari gempa bumi. Sistem ini bekerja dengan cara mendistribusikan gaya gempa melalui momen lentur, gaya geser, serta gaya searah sumbu yang timbul pada struktur bangunan. Sesuai dengan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung Dan Non Gedung, sistem ini berfungsi guna memastikan kapasitas rangka bangunan dalam menahan deformasi dan menahan stabilitas selama proses seismik.

Sistem rangka pemikul momen dirancang untuk mewujudkan terbentuknya mekanisme sendi plastis secara terkendali, melalui perancangan dengan penguatan ujung-ujung komponen struktur. Penguatan ini diwujudkan dengan penempatan tulangan *transversal* dan *longitudinal* yang sesuai dengan ketentuan teknis pada standar gempa yang ada, guna menjamin kapasitas daktilitas dan ketahanan struktur terhadap deformasi ekstrem. Dengan daktilitas yang tinggi, SRPM dapat menyerap dan mendisipasikan energi gempa secara efektif efektif dimana posisi plastis diarahkan pada ujung balok atau bagian tertentu dari kolom dan bukan pada sambungan utama atau elemen kritis lainnya. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *strong column weak beam*. Sebagaimana yang tercantum pada SNI 1726:2019 pasal 3.53 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) diklasifikasikan menurut tingkatan utama berdasarkan tingkat daktilitasnya, yaitu SRPM Biasa (SRPMB), SRPM Menengah (SRPMM), dan SRPM Khusus (SRPMK). Ketiga sistem tersebut dijelaskan pada bagian di bawah ini:

2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa memiliki daktilitas pada tingkatan paling rendah dibanding SRPMM dan SRPMK. Ketentuan perencanaan Sistem Pemikul Momen Biasa diatur dalam SNI 2847-2019 Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pasal 18.3. Dalam ketentuan terkait, Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) diperuntukkan untuk struktur dengan Kategori Desain Seismik (KDS) tipe B. Keunggulan utama dari sistem struktur ini terletak pada kesederhanaan dari sisi arsitektural serta efisiensi biaya konstruksi yang relatif rendah. Sedangkan, kelemahan dari sistem struktur ini terletak pada tingginya kerentanan struktur apabila terjadi perubahan lingkungan secara mendadak, seperti pergeseran tanah atau cuaca ekstrem (Hirel dkk., 2018)

2.2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah jenis sistem struktur yang dirancang untuk memiliki kapasitas lendutan plastis tingkat sedang, dan umumnya diimplementasikan pada struktur dengan Kategori Desain Seismik (KDS) A, B, atau C. Ketentuan perencanaan SRPMM diatur dalam SNI 2847:2019 Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pasal 18.4. SRPMM diharapkan dapat menahan gaya-gaya yang ada dengan memaksa balok runtuh terlebih dahulu dengan membuat kuat geser melebihi kuat lentur.

2.2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan desain struktur beton bertulang yang memiliki tingkat daktilitas yang tinggi dengan pendetailan secara khusus. Bangunan yang terletak pada wilayah dengan Kategori Desain Seismik (KDS) wilayah D, E, dan F harus memakai SPRMK pada struktur bangunannya. Ketentuan perencanaan struktur SRPMK diatur dalam SNI 2847:2019 Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pasal 18.6. Pendetailan dalam ketentuan SRPMK dilakukan mengendalikan respon inelastis dari struktur dan mekanisme plastis, sehingga gaya yang terjadi akibat adanya gempa dapat diserap tanpa menyebabkan kegagalan mendadak yang berakibat runtuhnya bangunan.

2.3 Pembebanan Struktur

Perencanaan struktur bangunan memerlukan evaluasi terhadap berbagai skema pembebanan yang memungkinkan terwujud pada bangunan tersebut untuk memastikan stabilitas dan keamanan bangunan secara menyeluruh. Menurut SNI 1727:2020 tentang Ketentuan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, beban pada bangunan didefinisikan sebagai gaya atau pengaruh lain yang berasal dari berat sendiri material bangunan, beban penghuni, barang atau peralatan di dalam gedung, pengaruh lingkungan (seperti angin dan gempa), perbedaan perpindahan antar elemen, serta gaya-gaya kekangan akibat perubahan dimensi struktural. Beban pada struktur bangunan terdiri dari beberapa jenis yakni:

2.3.1 Beban Hidup

Beban hidup adalah jenis beban yang timbul sebagai konsekuensi dari penggunaan dan aktivitas yang berlangsung di dalam suatu bangunan yang ditentukan berdasarkan tipe dan fungsi bangunan. Beban ini berasal dari penghuni serta benda-benda yang bersifat sementara atau dapat dipindahkan, sehingga dapat menyebabkan variasi beban pada lantai maupun atap. Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1987 pasal 2.1.2, berikut merupakan ketentuan mengenai beban hidup pada struktur suatu bangunan yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

No	Penggunaan	Berat (kg/m ²)	Keterangan
1.	Lantai dan tangga rumah tinggal	200	Kecuali yang disebut pada nomor 2
2.	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting bukan untuk toko, pabrik, atau bengkel	125	
3.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250	
4.	Lantai ruang olah raga	400	

No	Penggunaan	Berat (kg/m ²)	Keterangan
5.	Lantai ruang dansa	500	
6.	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan.	400	Masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop, dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap
7.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri.	500	
8.	Tangga, bordes tangga, dan gang.	300	No. 3
9.	Tangga, bordes tangga, dan gang.	500	No. 4, 5, 6, 7
10.	Lantai ruang pelengkap	250	No 3, 4, 5, 6, 7
11.	Pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin	400	Minimum
12.	Gedung parkir bertingkat : - Lantai bawah - Lantai tingkat lainnya	800 400	
13.	Balkon yang menjorok keluar	300	Minimum

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987)

Tabel 2. 2 Beban Hidup Pada Atap Gedung

No.	Penggunaan	Berat (Kg/m ²)	Keterangan
1.	Atap atau bagian atap serta <i>canopy</i> yang dapat dicapai orang	100	Atap
2.	Atap atau bagian atap yang tidak dapat dicapai orang a) Beban air hujan b) Beban terpusat	(40 – 0,8 α) 100	α : sudut atap, min 20 kg/m ² dan tidak perlu ditinjau apabila kemiringan > 50°
3.	Balok/gording tepi kantilever	200	

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987)

Reduksi beban hidup adalah penyesuaian terhadap nilai beban hidup (*live load*) yang diterapkan pada struktur, dengan tujuan untuk mencerminkan kondisi beban yang lebih realistis, terutama ketika beban tersebut tidak mungkin terjadi

secara bersamaan di seluruh area struktur. Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1987 pasal 2.1.2.5 yang membahas tentang pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung, koefisien reduksi beban hidup dijelaskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Penggunaan Gedung	Koefisien	
	Perencanaan portal	Peninjauan gempa
Perumahan/penghunian: a. Rumah tinggal b. Hotel c. Rumah sakit	0,75	0,3
Pendidikan a) Sekolah b) Ruang kuliah	0,9	0,5
Kantor a) Kantor b) Bank	0,6	0,3
Perdagangan a) Toko b) Toserba c) Pasar	0,8	0,8
Penyimpanan a) Gudang b) Perpustakaan c) Ruang arsip	0,8	0,8
Industri a) Pabrik b) Bengkel	1	0,9
Tempat kendaraan a) Garasi b) Gedung parkir	0,9	0,5
Gang dan tangga a) Perumahan atau hunian	0,75	0,3
Pendidikan, kantor	0,75	0,5

Penggunaan Gedung	Koefisien	
	Perencanaan portal	Peninjauan gempa
Pertemuan umum, perdagangan, penyimpanan industri, tempat kendaraan	0,9	0,5

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987)

Tabel 2. 4 Reduksi Beban Hidup Kumulatif

Jumlah lantai yang dipikul	Koefisien reduksi yang dikalikan kepada beban hidup kumulatif
1	1,0
2	1,0
3	0,9
4	0,8
5	0,7
6	0,6
7	0,5
≥ 8	0,4

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987)

2.3.2 Beban Mati

Beban mati merupakan hasil dari berat total elemen struktur yang bersifat tetap dalam suatu bangunan. Beban ini bersifat konstan dan tidak mengalami perubahan seiring waktu, karena bergantung pada komponen tetap yang membentuk sistem struktur bangunan tersebut. Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987) pasal 2.1.1 menjelaskan jenis-jenis beban mati pada bangunan yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan 2.6.

Tabel 2. 5 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Bangunan

No	Bahan Bangunan	Berat Sendiri (Kg/m ³)
1.	Baja	7850
2.	Batu alam	2600
3.	Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500
4.	Batu karang	700
5.	Batu pecah	1450
6.	Besi tuang	7250
7.	Beton	2200
8.	Beton bertulang	2400
9.	Kayu	1000
10.	Kerikil, koral	1650
11.	Pasangan batu merah	1700
12.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
13.	Pasangan batu cetak	2200
14.	Pasangan batu karang	1450
15.	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
16.	Pasir (jenuh air)	1800
17.	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
18.	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700
19.	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000
20.	Tanah hitam (timbel)	11400

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987)

Tabel 2. 6 Berat Sendiri Komponen Gedung

No.	Komponen Gedung	Berat Sendiri (Kg/m ²)
1.	Adukan, per cm tebal : a) Dari semen	21
	b) Dari kapur, semen merat atau tras	17
2.	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, percm tebal	14
3.	Dinding pasangan bata merah a) Satu batu b) Setengah batu	450 250
4.	Dinding pasangan batako Berlubang : a) Tebal dinding 20 cm (HB 20) b) Tebal dinding 10 cm (HB 10) Tanpa lubang :	200 120

No.	Komponen Gedung	Berat Sendiri (Kg/m ²)
	c) Tebal dinding 15 cm	300
	d) Tebal dinding 10 cm	200
5.	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku) terdiri dari : a) Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis) dengan tebal max 4 mm b) Kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	11 10
6.	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang max 5 m dan untuk beban hidup max 200 kg/m ²	40
7.	Penggantung langit-langit (dari kayu) dengan bentang max 5 m dan jarak s.k.s min 0,8 m	7
8.	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50
9.	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10
10.	Penutup lantai dari ubin semen pc, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
11.	Semen asbes gelombang (t : 5 mm)	11

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987)

2.3.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan gaya internal yang timbul akibat gerakan seismik tanah saat gempa terjadi yang berdampak pada struktur bangunan secara langsung. Dampak dari beban ini dapat menimbulkan getaran, tegangan, serta deformasi yang signifikan. Analisis beban gempa pada struktur gedung perlu dilakukan dengan mengkombinasikan pendekatan statik ekuivalen untuk gaya lateral dengan analisis dinamik yang mempertimbangkan variasi respon spektrum. Pendekatan ini disesuaikan dengan karakteristik massa, kekakuan, dan perilaku dinamik struktur terhadap percepatan tanah. Seluruh prosedur perencanaan diatur sesuai dengan SNI 1726:2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung Dan

Non Gedung. Dalam perhitungan terhadap beban gempa, terdapat sejumlah faktor memengaruhi besarnya gaya lateral yang harus dipikul struktur, anatar lain:

A. Kategori Risiko Bangunan Gedung

Kategori risiko bangunan gedung ditetapkan berdasarkan fungsi operasional dan kegunaan bangunan tersebut. Semakin tinggi kategori risiko, bangunan tersebut dikategorikan sebagai fasilitas esensial yang apabila terjadi kegagalan berpotensi menimbulkan kerugian jiwa yang tinggi. Kategori risiko bangunan gedung tercantum dalam SNI 1726:2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung Dan Non Gedung pasal 4.1.2 yang mengelompokkannya berdasarkan tujuan dan peran fungsionalnya sesuai dengan Tabel 2.7 di bawah.

Tabel 2. 7 Kategori Risiko Bangunan

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: a) Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan. b) Fasilitas sementara. c) Gudang penyimpanan. d) 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: a) Perumahan. b) Rumah toko dan rumah kantor. c) Pasar. d) Gedung perkantoran. e) Gedung apartemen/ rumah susun. f) Pusat perbelanjaan/ mall. g) Bangunan industri. h) Fasilitas manufaktur. i) Pabrik.	II

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: Bioskop. a) Gedung pertemuan. b) Stadion. c) Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat. d) Fasilitas penitipan anak. e) Penjara. f) 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 : a) Pusat pembangkit listrik biasa. b) Fasilitas penanganan air. c) Fasilitas penanganan limbah. d) 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	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : a) Bangunan-bangunan monumental. b) Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan. c) Rumah ibadah. d) Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat. e) Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat. f) Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya. g) Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat. h) Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat. i) Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2. 8 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726:2019

B. Klasifikasi Situs

Klasifikasi kelas situs merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum menetapkan parameter desain seismik atau menentukan besarnya amplifikasi percepatan gempa dari batuan dasar hingga ke permukaan tanah, mengacu pada ketentuan dalam SNI 1726:2019 Pasal 5.3 yang mengatur tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Klasifikasi ini menjadi dasar penting sebagai bagian dari perencanaan rekayasa struktur yang mampu merespons efek gempa secara tepat dan memenuhi standar teknis yang diterapkan di Indonesia (Siregar dkk., 2021). Klasifikasi kelas situs diklasifikasikan menurut profil tanah yang kemudian ditunjukkan pada tabel 2.9 di bawah.

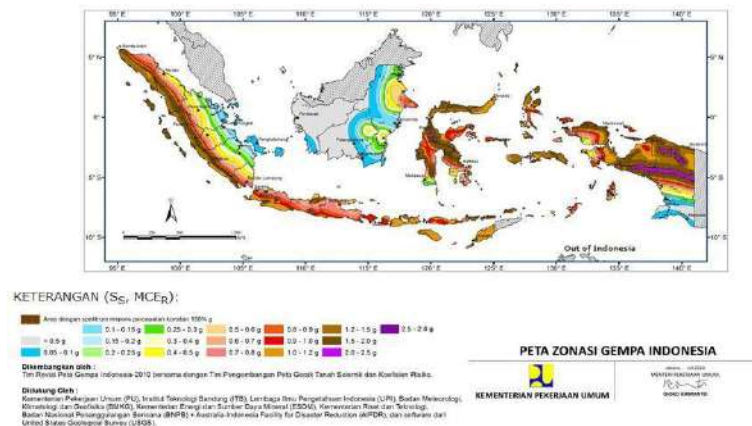
Tabel 2. 9 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V (m/detik)	N	S (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	>100
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	>50	50 – 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	<50
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. 2. Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

Sumber: SNI 1726:2019

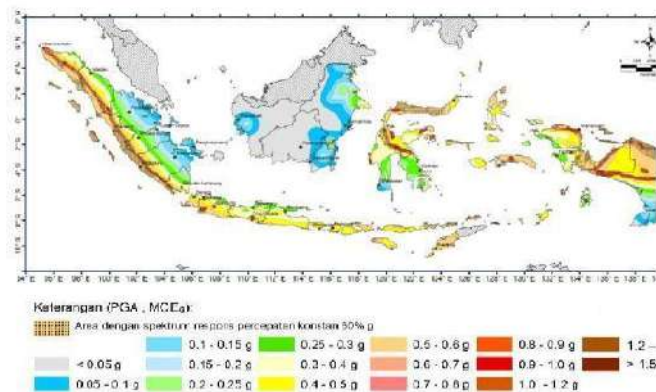
C. Parameter Percepatan Gempa

Kategori desain seismik bisa diidentifikasi dari parameter respons percepatan spektral pada periode pendek dan periode 1 detik. Peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_{IR}) parameter-parameter gerak tanah S_s dan S_1 ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2. 5 Peta Wilayah S_1

Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>



Gambar 2. 6 Peta Wilayah S_s

Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

Parameter S_s (akselerasi dasar pada periode pendek) dan S_1 (akselerasi dasar pada periode 1 detik) harus diambil dari respons spektrum akselerasi pada 0,2 detik dan 1 detik dalam peta getaran tanah seismik yang tercantum dalam pasal 15 SNI 1726:2019. Penyesuaian faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 dan 1 detik diperlukan untuk mencerminkan karakteristik tanah lokal dalam

penentuan respons spektral percepatan gempa (MCEiR) di permukaan, seperti yang diatur dalam SNI 1726:2019.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (\text{Persamaan 2. 1})$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (\text{Persamaan 2. 2})$$

Keterangan :

S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan gempa MCEiR terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCEiR terpetakan untuk periode 1,0 detik

Dengan koefisien situs F_a dan F_v ditentukan tabel

Tabel 2. 10 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ S, 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(a)					

Sumber: SNI 1726:2019 tabel 6

Catatan:

- S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.
- Untuk nilai – nilai antara S_s dapat dihitung dengan interpolasi linier.

Tabel 2. 11 Koefisien Situs Fv

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode 1 S, S ₁					
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s = 1,0	S _s = 1,25	S _s ≥ 1,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019 tabel 7

Catatan:

a) S_s = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Untuk nilai – nilai antara S_s dapat dihituing dengan interpolasi linier.

b) Untuk nilai – nilai antara S_s dapat dihituing dengan interpolasi linier.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung dan Non-Gedung, parameter percepatan spektral desain yang digunakan dalam perencanaan struktur ditentukan untuk dua rentang periode, yaitu periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}). Perhitungan nilai S_{DS} dan S_{D1} mengacu pada rumus yang ditetapkan dan menjadi dasar utama dalam penentuan kategori desain seismik serta analisis beban gempa pada struktur, ditentukan menggunakan rumus berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (\text{Persamaan 2. 3})$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (\text{Persamaan 2. 4})$$

D. Spektrum Respons Desain

Untuk menetapkan nilai S_a terdapat sejumlah persamaan yang bisa digunakan untuk menghitung berdasarkan nilai periode yang telah dihitung. Perhitungan S_a menurut pasal 6.4 SNI 1726:2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung Dan Non Gedung dijelaskan pada tabel 2.12 di bawah.

Tabel 2. 12 Rumus Spektrum Respons Desain

Rumus yang digunakan	Kondisi
$T < T_0$	$S_s = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$
$T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$	$S_s = S_{DS}$
$T > T_s$ dan $T \leq T_L$	$S_s = \frac{SD1}{T}$
$T > T_L$	$S_s = \frac{SD1 \times T_L}{T^2}$

Sumber: SNI 1726:2019

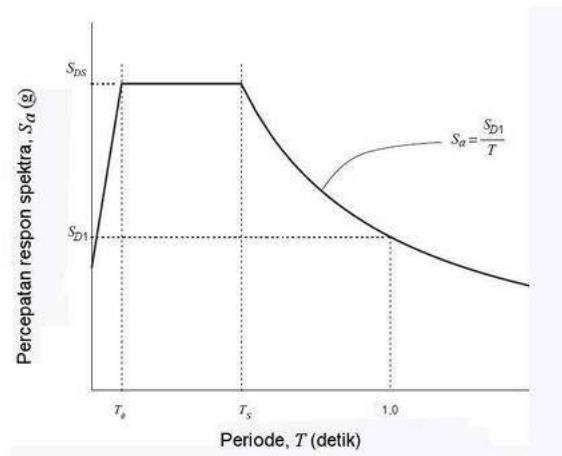
Keterangan:

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

$SD1$ = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

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

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



Gambar 2. 7 Spektrum Respons Desain

Sumber: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

E. Kategori Desain Seismik

Penetapan kategori desain seismik untuk suatu struktur harus merujuk pada ketentuan yang tercantum dalam Pasal 6.5 SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung. Nilai S_{DS} dan S_{D1} menjadi landasan dalam pengelompokan tingkat risiko seismik struktur, yang diklasifikasikan dari kategori A hingga E. Panduan lengkap mengenai rentang nilai dan klasifikasi risiko ini dapat ditemukan dalam Tabel 2.13 dan Tabel 2.14.

Tabel 2. 13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2. 14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I, II, III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

2.3.4 Beban Angin

Tekanan yang ditimbulkan oleh angin pada permukaan struktur bangunan akibat pergerakan massa udara secara horizontal dari area bertekanan tinggi ke bertekanan rendah merupakan jenis beban lateral yang wajib diperhitungkan dalam analisis total beban bangunan. Beban angin ini diterapkan pada struktur di lajur angin, yang menyebabkan angin berubah atau bahkan berhenti. SNI 1727:2020 pasal 26.6 menyebutkan faktor angin seperti yang tertera pada tabel 2.15 berikut.

Tabel 2. 15 Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin, K_d
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading	0,85
Atap Lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	
Persegi	0,9
Segi Enam	0,95
Segi Delapan	1,0 ^a
Bundar	1,0 ^a
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terkait	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95
^a Faktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris	

Sumber: SNI 1727:2020

2.4 Komponen Struktur Gedung

2.4.1 Pondasi

Pondasi adalah elemen sub-struktur bangunan yang berperan dalam mentransfer beban dari struktur atas ke tanah pendukung di bawahnya. Sistem ini dirancang agar beban yang diteruskan tidak menyebabkan kegagalan geser pada tanah maupun penurunan (*settlement*) yang melebihi ambang batas yang diperkenankan, sehingga stabilitas dan kinerja struktur tetap terjaga (Candra dkk., 2018). Perhitungan pondasi diperlukan ketelitian dan ketepatan dalam perencanaan guna meminimalkan risiko kegagalan struktur bangunan sehingga pondasi dapat menjamin kestabilan terhadap berat bangunan itu sendiri. Kapasitas daya dukung ultimit (Q_{ult}) menurut Resse & Wright (1997) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s - W_p \quad (\text{Persamaan 2. 5})$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (\text{Persamaan 2. 6})$$

Keterangan:

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung ultimit (ton)

Q_p = Tahanan ujung (ton)

Q_s = Tahanan gesek/friksi (ton)

Q_{all} = Kapasitas daya dukung izin (ton)

SF = Koefisien *safety factor*

2.4.2 Pile Cap

Pile cap adalah bagian dari struktur bawah yang berada di bawah zona tanah teratas dan berfungsi mengikat sekelompok tiang pancang yang bekerja sama sebagai unit sistem pondasi guna mendistribusikan beban struktur atas ke struktur bawah secara merata. Pertimbangan yang tepat terhadap pile cap dalam pemodelan sistem fondasi dapat secara signifikan meningkatkan kekakuan fondasi serta tahanan lateral pasif terhadap beban gempa (Ashour dkk., 2019).

Perhitungan *pile cap* didasarkan pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pasal 13.4 untuk fondasi dalam dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Ketebalan minimum *pile cap* ≥ 300 mm
- 2) Analisis momen lentur dan gaya geser pada *pile cap* mempertimbangkan asumsi bahwa gaya reaksi dari setiap tiang pancang berpusat pada titik berat penampang tiang pancang.
- 3) Jarak antar tiang pancang satu dengan tiang pancang lain harus memenuhi ketentuan sebesar tiga kali diameter ($3d$), guna menghindari interaksi tanah yang berlebihan dan memastikan efisiensi distribusi beban.

2.4.3 Tie Beam

Tie beam adalah balok horizontal yang menghubungkan antar dua *pile cap* dengan tujuan menyamakan distribusi penurunan (*settlement*). Dengan mekanisme ini, beban terdistribusi secara lebih merata antar titik pondasi, sehingga dapat mengurangi perbedaan penurunan dan menjaga kestabilan struktur bangunan secara keseluruhan (Amalia dkk., t.t.). Perencanaan *tie beam* direncanakan dengan acuan sebagai berikut:

- 1) Diatur pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pasal 18.3.3.2, dimensi penampang terkecil *tie beam* harus $\geq$ spasi bersih antar kolom dengan 20db, tetapi harus ≤ 450 mm
- 2) SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung Dan Non Gedung pasal 7.13.6.2 mengatur tentang gaya axial pengikat fondasi didesain memiliki gaya sebesar $10\% S_{DS} \times$ gaya gravitasi terfaktor kolom.

2.4.4 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah elemen struktur yang berperan dalam menyalurkan beban vertikal, ke elemen penopang vertikal seperti balok dan kolom. Ketebalan pelat keseluruhan (h) harus sesuai dan tidak boleh kurang dari batasan yang telah ditentukan. Menurut ketentuan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pelat lantai dengan balok yang melintasi penyangga pada semua sisi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Untuk nilai rasio panjang bentang momen negatif terhadap panjang bentang momen positif (αm) $\leq 0,2$, maka tebal minimum pelat dua arah ditentukan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 Ketebalan Minimum Pelat dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior

f_y, MPa	Tidak Ada Penebalan Pelat Di Sekitar Kolom			Terdapat Penebalan Pelat Di Sekitar Kolom		
	Pelat Tepi		Pelat Yang Ditumpu Setiap Sisi	Pelat Tepi		Pelat Yang Ditumpu Setiap Sisi
280	$\ell/33$	$\ell/36$	$\ell/36$	$\ell/36$	$\ell/40$	$\ell/40$
420	$\ell/30$	$\ell/33$	$\ell/33$	$\ell/33$	$\ell/36$	$\ell/36$
520	$\ell/28$	$\ell/31$	$\ell/31$	$\ell/31$	$\ell/34$	$\ell/34$
1. ℓ_n = Panjang bersih searah bentang, diukur dari sisi muka tumpuan (mm). 2. Ketebalan minimum untuk f_y di antara nilai tabel diperoleh dengan perhitungan interpolasi linier. 3. Tebal pelat yang tidak ada penebalan harus > 125 mm dan tebal peat yang diberi penebalan harus > 100 mm. 4. Nilai α pada balok di tepi harus $> 0,8$.						

Sumber: Tabel 8.3.1.1. SNI pasal 8.3.1.1. 2847:2019

2. Untuk $0,2 < \alpha m \leq 2,0$ sedangkan h tidak boleh kurang dari:

$$\frac{\ln \left(0,8 + \frac{F_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha m - 0,2)} \quad (\text{Persamaan 2. 7})$$

3. Untuk $\alpha m > 2,0$, seangkan h tidak boleh kurang dari:

$$\frac{\ln \left(0,8 + \frac{F_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (\text{Persamaan 2. 8})$$

Keterangan:

h = tebal pelat total

ℓ_n = panjang bentang bersih terpanjang pelat

αm = nilai rata-rata α untuk ke empat sisi pelat

β = rasio bentang bersih terpanjang terhadap bentang bersih terpendek pelat

Rasio kekakuan lentur balok-pelat terhadap kekakuan lentur diatur pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pasal 13.2.4, dengan K dirumuskan sebagai berikut:

$$K = \frac{1 \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h_w} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w} \right) + 4 \left(\frac{h_f^2}{h_w^2} \right) + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h_w} \right)} \quad (\text{Persamaan 2. 9})$$

Dimana:

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cs} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia balok tak retak

I_s = momen inersia pelat tak retak

2.4.5 Balok

Balok adalah struktur yang berfungsi meneruskan beban ke kolom, pengikat kolom, menambah kekuatan lentur pelat lantai, dan untuk menambah kekuatan horizontal pada struktur (Afnaldi & Dewi, 2022). SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan pasal 9.3.1.1 menjelaskan, tinggi balok nonprategang sebagai berikut:

Tabel 2. 17 Tinggi Minimum Balok Non Prategang

Perletakkan Komponen Sederhana	h min
Sokongan Sederhana	L/16
Satu Ujungnya Tidak Putus	L/18,5
Kedua Ujungnya Tidak Putus	L/21
Kantilever	L/8

Sumber : SNI 2847-2019

Sesuai dengan ketentuan dalam Pasal 18 SNI 2847:2019, dimensi balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Panjang bentang bersih (ℓ_n) harus paling sedikit empat kali tinggi penampang balok ($4d$) untuk memastikan perilaku lentur yang dominan dan menghindari kegagalan geser.
2. Lebar penampang balok (b_w) wajib memenuhi dua kriteria, yaitu:

- a. Tidak boleh kurang dari 0,3 kali tinggi penampang balok ($0,3h$).
 - b. Tidak boleh kurang dari 250 mm, untuk menjamin ketahanan terhadap gaya dalam dan kemudahan pengerjaan di lapangan.
3. Jika lebar balok melebihi lebar kolom penumpunya, maka proyeksi lebar balok pada masing-masing sisi kolom tidak boleh lebih dari nilai terkecil antara c_2 dan $0,75c_1$, di mana:
- a. C_1 adalah lebar kolom dalam arah sejajar balok.
 - b. C_2 adalah lebar kolom dalam arah tegak lurus terhadap balok.

Ketentuan ini dirancang untuk menjamin kinerja daktail dan kemampuan disipasi energi struktur selama peristiwa gempa.

2.4.6 Kolom

Kolom didefinisikan sebagai komponen struktur vertikal yang dirancang menahan gaya tekan aksial, baik disertai maupun tanpa disertai momen lentur (Oberlyn Simanjuntak & Putera Harefa, 2021) Dalam sistem rangka, kolom memegang peran krusial sebagai elemen utama penahan gaya seismik. Komponen vertikal ini dirancang secara khusus untuk mampu menahan dan mendistribusikan gaya-gaya internal berupa gaya aksial, momen lentur, serta gaya geser yang timbul akibat beban gravitasi maupun beban gempa. Pada kolom sistem rangka pemikul momen khusus, kolom harus memenuhi beberapa persyaratan khusus, diantaranya:

1. Pada sistem rangka pemikul momen khusus, ketentuan batasan dimensi penampang kolom diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1 yang mengharuskan:
 - a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
 - b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4.
2. Ketentuan kekuatan lentur minimum kolom SRPMK diatur dalam 2847:2019 pasal 18.7.3.2 yang mengharuskan:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (\text{Persamaan 2. 10})$$

Dimana:

$\sum M_{nc}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka kedalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

$\sum M_{nb}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka kedalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

3. Dalam perencanaan dimensi kolom, sering digunakan asumsi bahwa lebar kolom (b) dianggap sama dengan tinggi penampang kolom (h), sehingga penampang berbentuk persegi. Dengan asumsi ini, dimensi kolom dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{I_{kolom}}{h_{kolom}} > \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \quad (\text{Persamaan 2. 11})$$

Dimana :

h_{kolom} = tinggi bersih kolom

h L_{balok} = bentang bersih balok

I_{kolom} = inersia kolom ($1/12 b h^3$)

I_{balok} = inersia balok ($1/12 b h^3$)

2.5 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan masing-masing pekerjaan dalam rangka menyelesaikan suatu proyek hingga tercapai hasil ideal dengan mempertimbangkan keterbatasan-keterbatasan yang ada (Fazis, 2022). Dalam pelaksanaannya, proyek dibatasi oleh tiga parameter utama yaitu, anggaran, waktu, dan mutu yang dikenal sebagai *triple constraint* dan menjadi tolok ukur utama keberhasilan proyek konstruksi.

Berbagai metode telah digunakan dalam penjadwalan, seperti *Bar Chart*, *Critical Path Method* (CPM), *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), hingga pendekatan modern seperti *Building Information Modeling* (BIM) 4D dan 5D. Saputra & Aufa (2022) membuktikan bahwa kombinasi antara *Microsoft Project* dan *Autodesk Revit* dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam proses penjadwalan proyek bangunan vertikal.

2.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) atau yang biasa disebut dengan estimasi biaya merupakan langkah paling krusial dalam proses perencanaan proyek konstruksi (Ibrahim & Elshwadfy, 2021). Estimasi biaya memegang peranan penting dalam pengambilan keputusan. Biaya konstruksi bersifat dinamis dan ketidakpastian ekonomi dapat memberikan dampak yang signifikan, khususnya pada proyek jangka panjang dan berskala besar. Memprediksi harga dan estimasi biaya konstruksi merupakan langkah yang sangat penting bagi kontraktor, estimator, maupun pemilik proyek (Elfahham, 2019).

Penyusunan RAB melibatkan beberapa komponen utama, seperti uraian pekerjaan, volume pekerjaan, analisis harga satuan, harga material, upah tenaga kerja, serta biaya alat. Seiring berjalannya waktu, *Quantity Take Off* (QTO) berbasis BIM pada tahap awal desain dapat sangat membantu semua pemangku kepentingan karena memiliki potensi untuk memberikan estimasi awal meskipun dengan tingkat detail model (*Level of Development*) yang masih rendah. Salah satu manfaat dari penerapan *Quantity Take Off* (QTO) berbasis *Building Information Modeling* (BIM) adalah untuk meningkatkan keandalan estimasi biaya serta mendukung analisis keterbangunan (*constructability*) secara lebih akurat (Alathamneh dkk., 2024)

2.6.1 Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan pada proyek konstruksi merujuk pada jumlah total pekerjaan yang harus diselesaikan yang merupakan jumlah atau besaran dari masing-masing item pekerjaan konstruksi yang dihitung dalam satuan volume. Agar hasil perhitungan volume akurat, estimator harus memiliki pemahaman yang jelas terhadap gambar desain yang telah ditetapkan secara definitif, termasuk detail ukuran, spesifikasi teknis, serta cakupan pekerjaan yang direncanakan (Jonathan dan Anondho, 2021).

Perhitungan volume pekerjaan berbasis *Building Information Modeling* (BIM) dikembangkan seiring waktu melihat manfaatnya yang besar, *Quantity Take Off* (QTO) yang berbasis BIM memiliki keluaran (*output*) yang lebih sederhana,

lebih akurat dan lebih detail daripada perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) secara manual (Ferial dkk., 2022)

2.6.2 Analisis Harga Satuan

Untuk menetapkan harga satuan pekerjaan dalam proyek konstruksi, digunakan metode Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang melibatkan perencanaan kebutuhan sumber daya proyek berdasarkan jenis pekerjaan yang mencakup bahan bangunan, pekerja, serta sarana pendukung lainnya. Masing-masing komponen tersebut dikalikan dengan harga satuannya, baik berupa harga material, standar upah pekerja, maupun biaya sewa atau pembelian alat, untuk memperoleh estimasi biaya per satuan pekerjaan. Sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016, penyusunan AHSP bertujuan untuk menjamin transparansi, akuntabilitas, dan konsistensi dalam pengelolaan biaya konstruksi, khususnya pada pekerjaan yang didanai oleh pemerintah. Analisis ini harus dilakukan berdasarkan kebutuhan riil sumber daya dan mengikuti harga satuan yang sesuai standar atau harga pasar yang berlaku di wilayah pekerjaan.