

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. BIM (Building Information Modelling)

Building Information Modelling (BIM) merupakan salah satu inovasi dalam bidang dunia konstruksi. BIM merupakan bentuk metodologi yang dapat menghasilkan, mengelola dan menukur daya dalam jangka waktu yang panjang dan tak terbatas. Lahirnya BIM tidak terlepas dari kemajuan teknologi di seluruh lapisan industri dan permintaan pasar yang semakin berkembang. BIM konsep, software dan cara kerja dari BIM sendiri telah banyak di kaji ulang baik dalam literatur, industri ataupun forum-forum online (Succar, B, 2013)

Pada awal 200-an BIM mulai dikenalkan melalui kebijakan, standarisasi dan peningkatan untuk lebih mudah di akses. Karena meningkatnya peminatan terhadap BIM seiring dengan perkembangan teknologi menuntut permintaan terhadap kebutuhan akan tenaga terampil yang baru dengan persyaratan kompetensi untuk lulusan dan para professional di dunia industri (Hooper, 2015).

Perkembangan BIM mengalami konsep kedalam 3 tahapan (Underwood et al, 2013):

1. *BIM-aware*, baik lulusan maupun pekerja di industri konstruksi telah sadar terhadap kedaduratan penggunaan BIM karena konsep BIM sendiri berimplikasi terhadap transformasi digital serta budaya industri konstruksi
2. *BIM-focused*, baik lulusan maupun pekerja industri konstruksi memiliki kemampuan dalam memodelkan menggunakan system BIM untuk menyelesaikan pekerjaan seperti pemodelan, penjadwalan hingga simulasi.
3. *BIM-enabled*, merupakan penerapan BIM dalam dunia Pendidikan dimana BIM sendiri dijadikan subject/platform untuk belajar.

Building Information Modelling (BIM) sebuah cara kerja atau konsep dengan permodelan 3D digital (virtual) pekerjaannya mencakup semua informasi

permodelan untuk koordinasi, simulasi, serta visualisasi antar semua pihak yang terkait baik perencana, kontraktor, pengawas maupun owner dapat membantu proses merancang, membangun dan mengelola bangunan, (Sangadji dkk. (2019)).

Klasifikasi BIM berdasarkan fungsinya adalah sebagai berikut:

1. 2D : Permodelan desain dalam bentuk sketsa yang berisi informasi ukuran panjang dan lebar pada sebuah lembar kerja.
2. 3D : Merupakan hasil desain dari 2D yang dibentuk menjadi sebuah model bangunan dapat dilihat secara keseluruhan. Desain 3D dapat digunakan untuk mendeteksi risiko *clash* layanan di gedung.
3. 4D : Pengolahan dari hasil desain 3D yang dapat dihubungkan pada penjadwalan pembangunan. Tahap Ketika menambahkan parameter waktu pada model 3D disebut sebagai simulasi 4D. Model 4D digunakan untuk merencanakan dan menjabarkan kegiatan proyek.
4. 5D : integrasi desain 3D dan 4D dengan biaya, pada konsep model 5D digunakan untuk mengestimasi biaya pembangunan dari sebuah bangunan.
5. 6D : Model 6D dapat menganalisis performa bangunan dan memiliki aspek ramah lingkungan
6. 7D : Konsep BIM 7D dapat digunakan untuk melacak serta mengetahui data baik berupa status komponen, spesifikasi, data garansi serta pemeliharaan bangunan dengan lebih detail pada kondisi gedung/bangunan.

Manfaat BIM telah banyak dirasakan oleh beberapa pihak yang terlibat dalam dunia konstruksi oleh sebab contohnya di negara Swedia standarisasi terhadap pemakaian BIM pun sudah mulai diterapkan di dunia konstruksi dan telah diterapkan oleh banyak pihak yang terlibat dalam proses konstruksi berikut menjelaskann bahwa sebanyak 67 kuisoner responden yang berlatar belakang dan disiplin ilmu menyajikan bahwa dan hasil survey tersebut sebanyak 22 % BIM diimplementasikan oleh profesi Arsitek, ahli akademik 19 % sementara para pemilik proyek atau owner menunjukkan angka yang lebih rendah yakni sebesar 2% diikuti dengan Manajer fasilitas sebesar 2% dan pemasok dengan persentase 2%

namun angka tersebut tidak dapat mencerminkan seluruh upaya standarisasi dari BIM di seluruh sektor konstruksi (Hooper, M. 2015).

2.1.1. SAP 2000

Otomatisasi Penerapan perhitungan pada desain struktur diterapkan untuk topologi dan optimasi dari bentuk yang dapat dianalisis setelah diberikan pembebanan statis. Sebagaimana program analisis struktur tersebut merupakan SAP 2000 yang menjadi alat bantu untuk memodelkan struktur yang berdasarkan pada syarat yang ada di AISC LRFD99.

SAP 2000 memproses serta memasukkan file dengan format MDB, XLS, SDB dan TXT. Sementara hasil ekspor atau keluaran file dari SAP2000 didapatkan data seperti *joint* serta *frame stress* yang dalam outputnya program SAP2000 akan menampilkan luas tulangan total berdasarkan dimensi struktur berupa as perlu sebagai data diperlukan untuk desain (Ghozi M, dkk. 2011).

2.1.2. Autodesk Revit

Peralihan pemodelan bangunan saat ini telah berubah yang pada awalnya menggunakan CAD saat ini pemodelan dengan sistem BIM. Beberapa variasi dari aplikasi BIM diantaranya adalah *Revit*. *Revit* merupakan aplikasi keluaran *Autodesk* yang digunakan untuk memodelkan struktur, arsitektur maupun *mechanical electrical plumbing* pada bangunan secara 3D.

Autodesk Revit mengkategorikan komponen berdasarkan kategori, tipe, contoh dan *family*. Kategori merupakan kumpulan dari elemen berfungsi untuk memodelkan maupun mendokumentasikan desain dari bangunan. Sebagai contoh kolom, balok dan dinding merupakan bagian dari elemen model. Kategori *family* berupa kumpulan dari elemen dalam suatu kumpulan kategori. *Family* merepresentasikan elemen yang identic atau serupa misalnya kolom bulat, persegi dan segitiga. Dari *family* inilah yang dapat membentuk bangunan pada bangunan. *Family* adalah elemen yang dipasang atau dirakit di lokasi proyek. File *family* dapat dibuat pada file eksternal dan kemudian dapat di input pada *project*. Sementara element dapat dibuat langsung pada lembar kerja *project* (Meadati, dkk. 2010)

Beberapa kelebihan *Autodesk Revit* untuk melaksanakan *quantity take-off* (Laorent. 2019):

1. Aplikasi yang mudah digunakan untuk memodelkan elemen baik struktur, arsitektur maupun MEP karena sedikit memiliki kesamaan dengan pengoperasian *Autodesk CAD*.
2. Menyajikan volume beton dengan akurat pada struktur baik kolom maupun balok. Namun untuk pemodelan pada *slab* atau plat lantai *Autodesk revit* menghitung volume penuh tanpa mengurangi volume dari kolom maupun balok dengan as atau grid yang sama.
3. Dapat mempermudah beberapa pihak apabila terjadi perbedaan penafsiran pada desain yang berkaitan dengan perhitungan volume. Oleh sebab itu *Autodesk Revit* dapat menampilkan volume kembali apabila terjadi perubahan desain sehingga *Quantity Surveyor* tidak perlu melakukan perhitungan dari awal.
4. Mengurangi kesalahan yang diakibatkan oleh manusia karena *Autodesk revit* mengeluarkan volume dengan akurat dari desain/model yang dibuat.
5. Dengan pemodelan secara 3D mempermudah baik pihak *owner*, pengawas maupun kontraktor untuk mengoreksi dan menganalisa apabila pada rekap volume terdapat perbedaan.

Disamping itu beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan dari penggunaan *Autodesk Revit* (Laorent. 2019):

1. Kemampuan *modeler* dalam memodelkan suatu desain tertentu untuk mengoperasikan aplikasi *Autodesk revit* agar model yang dibuat sesuai dengan yang direncanakan sehingga menghasilkan volume aktual.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk memodelkan cukup memakan waktu karena pemodelan harus dilakukan dengan teliti karena berkaitan dengan hasilnya yaitu berupa volume.

2.1.3. Microsoft Project

Microsoft Project merupakan *software* yang dibuat untuk mempermudah proses managerial dalam proyek yaitu sebagai alat untuk merencanakan, menentukan sumber daya tugas-tugas pada pelaksanaan proyek, memantau kemajuan proyek, menganalisis pekerjaan dan mengelola anggaran. Sumber daya pada proyek berupa peralatan, material dan tenaga kerja. Masing-masing sumber daya memiliki *time line* masing-masing. Biaya pada sumber daya inilah yang akan menentukan besaran rencana anggaran biaya pelaksanaan. Pada tahap pelaksanaan bergantung pada ketersediaan sumber daya yang menjadi idikasi untuk mementukan kalender pada pekerjaan. Oleh sebab itu *Microsoft Project* kurang cocok apabila digunakan untuk memecahkan keterbatasan ketersediaan masalah bahan pada proses produksi.

Microsoft Project membuat jadwal dengan jalur kritis dan rantai kritis serta bagan Gantt digunakan untuk menggambarkan tugas berdasarkan jadwal berdasar pada sumber daya. *Microsoft Project* dapat diakses oleh semua pengguna (Wale. 2015).

2.2. Perencanaan Gedung Bertingkat

Berdasarkan SNI 1727:2020 pihak-pihak terkait baik instansi, perorangan maupun badan harus bertanggung jawab mengimplementasikan ketentuan dari standart yang telah ditentukan. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Untuk merencanakan gedung bertingkat harus memenuhi beban minimum, risiko bahaya, kriteria terkait perencanaan gedung, seperti pada komponen nonstruktural yang harus memenuhi standart peraturan bangunan. Beban dan kombinasi pembebanan harus diimplementasikan untuk perancangan yang harus memenuhi tegangan izin untuk desain struktural konvensional. Pada pererancangan tagangan izin tegangan elastis perhitungan tidak boleh melebihi tegangan izin yang telah ditentukan. Beban pada bangunan yang diakibatkan berat sendiri bangunan, penghuni dan barang. Tujuan dari pemakaian bangunan itu sendiri harus dirancang sesuai dengan fungsi bangunan yang direncanakan atau digunakan.

Persyaratan dasar SNI 1727:2020 mengenai kekakuan pada struktur bangunan harus direncanakan serta dibangun berdasarkan kekuatan serta kekakuan agar bangunan stabil serta melindungi komponen nonstruktural.

Prosedur-prosedur dasar kekuatan dan kekakuan adalah sebagai berikut:

1. Prosedur kekuatan, Komponen pada struktural dan nonstruktural bangunan serta pada bagian sambungan harus dapat menahan kombinasi beban berdasarkan pasal 2.3 dengan tidak melebihi batas dari kekuatan pada material konstruksi
2. Prosedur tegangan izin, Komponen pada struktural dan nonstruktural bangunan serta pada bagian sambungan harus dapat menahan kombinasi beban berdasarkan pasal 2.3 dengan tidak melebihi batas dari tegangan pada material konstruksi
3. Prosedur berbasis kinerja, Komponen pada struktural dan nonstruktural bangunan serta pada bagian sambungan harus dapat menahan kombinasi beban berdasarkan pasal 2.3.6 atau melalui prosedur analisis dengan pengujian yang sesuai dengan keandalan target yang telah ditetapkan pada pasal ini.

2.3. Analisis Stuktur

2.3.1. Data-Data Perencanaan Bangunan

Data perencanaan bangunan merupakan data yang diperlukan untuk membantu dalam memberikan informasi yang dibutuhkan para perencana dalam merencanakan sebuah bangunan. Berikut beberapa data perencanaan bangunan.

1. *DED (Detail Engineering Design)*,
2. Data uji tanah,
3. Data perencanaan pembebanan proyek.

2.3.2. Beban yang Bekerja Pada Bangunan

Pada struktur komponen bangunan baik berupa fondasi harus didesain untuk memenuhi kekuatan yang sama dengan desainya atau lebih melebihi beban-beban

terfaktor pada kombinasi beban terfaktor. Pada beban seismic gempa beban-beban kombinasi harus sesuai dengan pasal 2.3.6 SNI 1727:2020. Definisi spesifik dari beban gempa E harus diselidiki berdasarkan batas kekakuan yang relevan.

Berikut merupakan kombinasi beban untuk desain kekuatan menurut SNI 1727:2020:

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

Berikut merupakan kombinasi beban untuk desain tegangan izin menurut SNI 1727:2020:

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

2.3.2.1. Beban Mati

Beban Mati merupakan berat sendiri bangunan berupa bahan konstruksi yang terpasang. Misalnya adalah dinding, lantai, atap, plafon, tangga, finishing, dinding partisi termasuk seluruh komponen arsitektural serta seluruh komponen struktural peralatan yang terpasang pada bangunan. (SNI 1727:2020 pasal 3.1.1).

Berat bahan konstruksi digunakan untuk merancang berat beban mati, apabila nilai pada suatu berat material tidak diketahui maka ditentukan berdasarkan kesepakatan oleh pihak yang berwenang. (SNI 1727:2020 pasal 3.1.2).

Berat peralatan layan merupakan beban mati pada bangunan, berat peralatan layan termasuk berat maksimum pada saat peralatan telah dilakukan pengisian cairan. Pada peralatan layan yang digunakan boleh di pindahkan dengan syarat

tidak dapat digunakan untuk menahan dari gaya yang dapat menyebabkan tergelincir, terguling dan terangkat sesuai pada pasal 1.2.6 (SNI 1727:2020 pasal 3.1.3).

Pada struktur yang berada di bawah tanah seperti lantai basemen, fondasi, slab serta elemen elemen horizontal lainnya harus dirancang sedemikian rupa agar mampu menahan beban angkat dari tanah. Pada beban hidrostatis dilakukan pengukuran dilakukan pengukuran dari sisi bagian bawah konstruksi. (SNI 1727:2020 pasal 3.2.2).

2.3.2.2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang dihasilkan dari fungsi penggunaan bangunan itu sendiri, seperti penghuni dan pengguna bangunan gedung atau beban yang tidak terkategori kedalam berat konstruksi serta beban dari lingkungan seperti beban hujan, beban angin, beban gempa, beban banjir (SNI 1727:2020 pasal 4.1).

Beban hidup pada atap disebabkan oleh pemeliharaan pekerja, material dan peralatan. Sementara beban hidup pada hunian yang fungsinya sebagai area berkumpul, atap vegetative atau lanskap diperhitungkan sebagai beban hidup pada atap daripada beban hidup atap (SNI 1727:2020 pasal 4.1).

2.3.2.3. Beban Gempa

Gempa merupakan pergerakan tanah secara horizontal (arah x dan arah y) yang dapat memberikan beban dan mempengaruhi struktur bangunan. Maka dari itu diperlukan adanya analisa terkait dengan dampak yang disebabkan oleh beban gempa. Peraturan dalam perhitungan dan Analisa beban gempa diatur dalam SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Pada SNI ini, dijelaskan terkait faktor yang berhubungan dengan perhitungan beban gempa seperti sebagai berikut.

a. Kategori Risiko Bangunan Gedung

Menurut SNI 1726:2019, kategori risiko bangunan Gedung diklasifikasikan berdasarkan fungsi dan kegunaan dari bangunan tersebut. Semakin tinggi kategori risiko, berarti semakin tinggi juga risiko terhadap

jiwa manusia. Selain itu pentingnya fasilitas bangunan terhadap dampak ekonomi dan kehidupan masyarakat sehari-hari juga termasuk pengaruh dalam klasifikasi kategori risiko bangunan gedung terhadap beban gempa. Kategori risiko bangunan gedung dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

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

<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, yang mengandung bahan beracun atau peledak di manajumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan padasaat keadaan darurat - Struktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

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

Tabel 2. 2 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 Tabel 4, 2019)

b. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs merupakan klasifikasi tanah yang berada di bawah bangunan berdasarkan jenisnya. Pada SNI 1726:2019 penetapan kelas situs atau kelas jenis tanahnya dilakukan melalui proses penyelidikan dan pengujian tanah. Nilai kelas pada klasifikasi situs nantinya akan mempengaruhi nilai koefisien parameter spektral percepatan gempa maksimum pada waktu tertentu. Untuk jenis tanah yang dikelompokkan pada klasifikasi situs dapat dilihat pada tabel 2.3. Sedangkan nilai koefisien parameter spektral percepatan gempa maksimum dapat dilihat pada tabel 2.4 dan tabel 2.5.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		

<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - 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 Tabel 5, 2019)

Tabel 2. 4 Koefisien Situs Fa

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>SC</i>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>SD</i>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>SE</i>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<i>SF</i>	SS(a)					

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 6, 2019)

Tabel 2. 5 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
<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(a)					

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 7, 2019)

c. Kategori desain seismik

SNI 1726:2019 menjadi pedoman dalam penentuan kategori desain seismik. Kategori desain seismik dapat ditentukan berdasarkan parameter respons spectral percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik.

Tabel 2. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons spectral percepatan periode pendek

Nilai SDS	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 8, 2019)

Tabel 2. 7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons spectral percepatan periode pendek

Nilai $SD1$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SD1$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 9, 2019)

Penentuan nilai S_{DS} (parameter respons percepatan pada periode pendek) dan S_{D1} (parameter respons percepatan pada periode 1 detik) dapat menggunakan 2 cara yaitu dengan perkalian antara koefisien situs dengan parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R (S_s atau S_1) seperti pada rumus dibawah

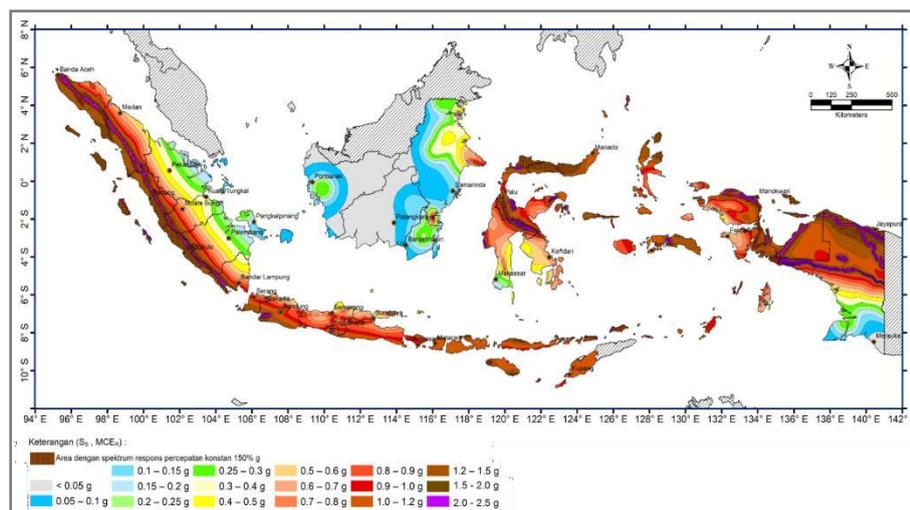
$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Selain menggunakan rumus diatas, penentuan nilai S_{DS} (parameter respons percepatan pada periode pendek) dan S_{D1} (parameter respons

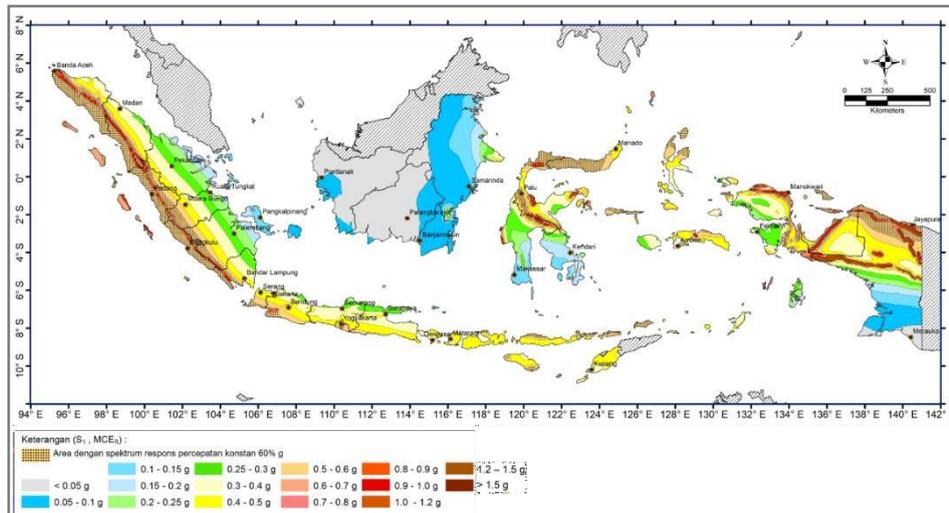
percepatan pada periode 1 detik) dapat menggunakan website resmi pemerintah Direktorat Bina Teknik Pemukiman dan Perumahan serta Direktorat Jendral Cipta Karya yaitu Aplikasi Dekstop RSA Desain Spektra Indonesia. Penentuan nilai S_{DS} dan S_{D1} dalam website ini berdasarkan koordinat wilayah yang akan ditinjau.

Sedangkan penentuan nilai parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R (S_s atau S_1) dapat menggunakan peta respon spektra pada SNI 1726:2019 seperti pada gambar 2.1 Dan gambar 2.2. Selain itu, juga dapat menggunakan website resmi pemerintah Direktorat Bina Teknik Pemukiman dan Perumahan serta Direktorat Jendral Cipta Karya yaitu Aplikasi Dekstop RSA Desain Spektra Indonesia.



Gambar 2. 1 Peta Respons Spektra (S_s)

(Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 15, 2019)



Gambar 2. 2 Peta Respons Spektra (S_1)

(Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 16, 2019)

d. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik pada bangunan tahan gempa, memiliki nilai R (koefisien modifikasi respons), Ω_0 (faktor kuat lebih sistem), dan C_d (faktor pembesaran defleksi) yang berbeda sesuai dengan jenis bangunan yang direncanakan. Untuk mengetahui nilai R , Ω_0 , C_d , dan batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 8 Faktor R , Ω dan C_d untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	R_a	Ω_0	C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10^k	TI^k	TI^k

4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI'	TI'	TI'
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	30	3½	10	10	10	10	10

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 12, 2019)

e. Spektrum respon desain

Dalam penentuan spektrum respon desain (S_a) ada beberapa beberapa rumus yang dapat digunakan sesuai dengan nilai periode yang diperoleh. Berikut rumus yang dapat digunakan menurut SNI 1726:2019 pada tabel berikut.

Tabel 2. 9 Rumus Spektrum respon desain

Keadaan	Rumus yang digunakan
$T < T_0$	$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0})$
$T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$	$S_a = S_{DS}$
$T > T_s$ dan $T \leq T_L$	$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$
$T > T_L$	$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2}$

(Sumber: SNI 1726:2019, 2019)

Keterangan:

S_{DS} = Parameter respons spectral percepatan desain periode pendek

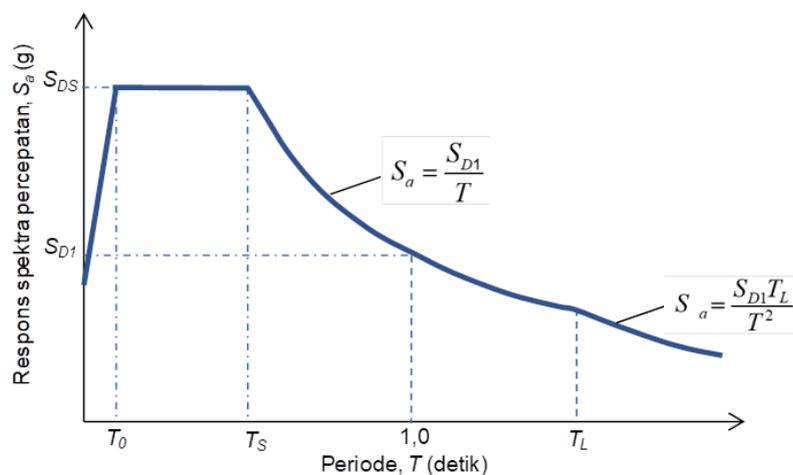
S_{D1} = Parameter respons spectral percepatan desain periode 1 detik

T = Periode gelar fundamental struktur

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

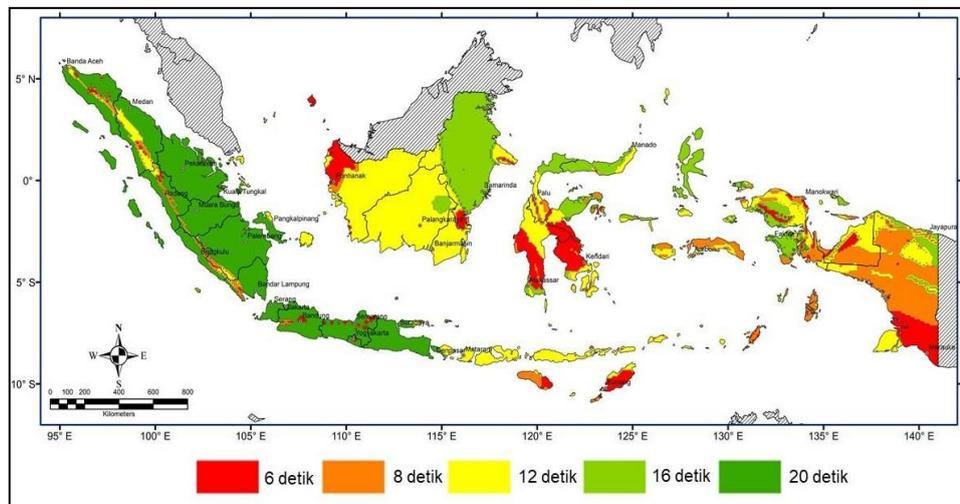
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Diperoleh dari peta transisi periode panjang pada gambar 2.3 yang nilainya diambil dari gambar 2.4



Gambar 2. 3 Spektrum respons desain

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



Gambar 2. 4 Peta Transisi periode panjang TL Indonesia

(Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 20, 2019)

2.4. Estimasi Biaya

Estimasi biaya merupakan rincian dari anggaran yang dibutuhkan sebagai rincian biaya pengeluaran di pekerjaan yang akan dilakukan. Estimasi biaya dibuat sedetail sehingga sekecil apapun biaya yang akan dikeluarkan di masa mendatang dapat diketahui. Oleh sebab itu estimasi biaya harus dilakukan sedetail mungkin agar perkiraan pengeluaran biaya dapat dikeluarkan secara tepat dan aktual sesuai dengan pengeluaran di lapangan.

Jenis-jenis estimasi biaya pada proyek mengalami perkembangan sesuai siklus kehidupan proyek konstruksi dengan estimasi biaya dibedakan sebagai berikut (Hansen. S. 2017):

1. Estimasi secara konseptual

Estimasi secara konseptual hanya sebatas berdasarkan informasi terbatas dan sifatnya yang tidak lengkap. Pada tahap ini estimasi hanya untuk memberikan gambaran umum terhadap pemilik proyek

2. Estimasi Awal

Pada tahap ini estimasi dilakukan bersumber dari gambar perencanaan atau arsitek dengan dibuat lebih detail.

3. Rencana Biaya

Tahap ini lingkupan tahapan pekerjaan konstruksi telah diketahui secara jelas oleh karena itu estimasi dibuat jauh lebih detail

4. Estimasi Pratender Final

Pada estimasi pretender adalah estimasi prakonstruksi dimana estimasi ini telah menjadi milik proyek sebagai acuan pembandingan pada penawaran yang dilakukan oleh kontraktor.

5. Estimasi Kontraktor

Estimasi Kontraktor merupakan estimasi yang dibuat oleh kontraktor untuk pengajuan penawaran terhadap suatu pekerjaan konstruksi. Estimasi kontraktor kemudian dijadikan bahan evaluasi dan pembandingan untuk pemilik proyek melakukan seleksi terhadap pemenang tender.

6. Estimasi Kontrol Biaya

Estimasi Kontrol Biaya digunakan untuk tahap melakukan kontrol terhadap biaya-biaya yang keluar pada saat masa pelaksanaan konstruksi agar kontraktor tidak menanggung kerugian. Pihak pemilik proyek pun membuat estimasi kontrol biaya.

2.4.1. Harga Upah

Proses analisis dari harga satuan upah tenaga kerja yaitu dengan menghitung dari jumlah tenaga kerja dan biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan suatu *item* pekerjaan konstruksi. Pada analisis harga satuan upah terdapat 2 unsur diantaranya (Juansyyah, Y, dkk. 2017):

1. Harga satuan upah tenaga kerja, upah yang dibayarkan kepada tenaga kerja di suatu pekerjaan proyek perhari dari pekerjaan yang telah diselesaikan sesuai dengan hasil pekerjaan yang telah dilakukan.
2. Koefien, merupakan angka yang menunjukkan angka untuk kebutuhan setiap tenaga kerja dapat menyelesaikan pekerjaan sesuai dengan pekerjaan yang diselesaikan.

$$\Sigma \text{ Tenaga kerja} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien Tenaga Kerja}$$

2.4.2. Harga Material

Analisis harga satuan material yaitu menghitung berdasarkan volume dari bahan juga berdasarkan biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan persatuan *item* pekerjaan. Pada analisis harga satuan material mengandung 2 unsur diantaranya adalah (Juansyiah, Y, dkk. 2017):

1. Harga satuan bahan, merupakan harga material atau bahan yang sudah ditetapkan oleh pemerintah setempat atau berdasarkan harga pasaran pada saat waktu anggaran dibuat.
2. Koefisien bahan, merupakan angka yang menunjukkan angka untuk kebutuhan bahan atau material untuk dapat menyelesaikan pekerjaan sesuai dengan pekerjaan yang diselesaikan.

$$\Sigma \text{ Bahan} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien Analisa}$$

2.4.3. Harga Sewa Alat

Harga sewa alat pada prinsipnya memperhitungkan jumlah alat yang dipakai dengan berdasarkan pada besarnya biaya yang dipakai untuk menyelesaikan suatu *item* pekerjaan konstruksi. Pada analisis harga satuan sewa alat mengandung 2 unsur diantaranya adalah (Juansyiah, Y, dkk. 2017):

1. Harga satuan alat, merupakan harga alat yang sudah berdasarkan harga pasaran pada saat waktu anggaran dibuat.
2. Koefisien alat, merupakan angka yang menunjukkan angka untuk kebutuhan alat untuk dapat menyelesaikan pekerjaan sesuai dengan pekerjaan yang diselesaikan.

$$\Sigma \text{ alat} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien Analisa Alat}$$

2.4.4. Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan merupakan penjumlahan dari perhitungan banyaknya volume suatu item pekerjaan dalam sebuah satuan tertentu. Pada analisis volume pekerjaan yaitu menguraikan secara terperinci dalam menghitung besarnya volume berlandaskan dari gambar bestek dan detail. (Nurcholid, dkk. 2021)

2.4.5. AHSP

Pedoman Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Cipta Karya dan Perumahan pada lingkup pekerjaan bangunan gedung yaitu terbagi atas level tertinggi ataupun level 1 hingga terkecil. Pada lingkup pekerjaan konstruksi atau biasa disebut sebagai struktur rincian kerja atau *work breakdown structure* (Pedoman Analisa Harga Satuan Pekerjaan Bidang Cipta Karya dan Perumahan).

Harga Satuan Pekerjaan (HSP) tersusun dari biaya langsung dan biaya tidak langsung. Dimana biaya langsung terdiri dari biaya upah, alat dan material. Sementara biaya tidak langsung merupakan biaya yang bersumber dari biaya profit dan biaya overhead. Biaya overhead biasa disebut sebagai biaya umum didapatkan berdasarkan persentase biaya langsung dimana besarnya. Biaya umum merupakan biaya operasional diantaranya (Alamin N. dkk. 2021):

1. Biaya kantor, telpon, listrik, internet dll
2. Biaya asuransi pegawai atau pekerja
3. Biaya untuk penyusutan alat penunjang
4. Biaya manajemen (jaminan bank, tender, bunga bank)
5. Gaji pegawai kantor lapangan
6. Biaya kantor yang tidak termasuk ke dalam pengadaan di setiap pembayaran.

2.4.6. Rancangan Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) digunakan untuk merencanakan pekerjaan konstruksi bangunan sebelum dilakukan pekerjaan konstruksi. RAB mencakup susunan biaya pelaksanaan baik secara administrasi maupun pekerjaan pelaksanaan pembangunan. Perhitungan RAB didapatkan dari banyaknya biaya yang

dikeluarkan untuk biaya upah, bahan dan alat serta biaya lainnya yang berhubungan baik langsung ataupun tidak langsung pada pelaksanaan pembangunan sebuah proyek (Nurcholid, dkk, 2021).

2.5. Penjadwalan

Penjadwalan proyek merupakan kegiatan untuk menentukan urutan pekerjaan yang harus dilakukan untuk menyelesaikan suatu proyek bangunan dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Dimana pada setiap kegiatan harus sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan dalam penjadwalan agar pekerjaan proyek dapat selesai secara efisien baik biaya maupun waktu (Callahan, 1992)

Pada konteks penadwalan dibagi menjadi dua perbedaan yang pertama adalah kontes waktu (*time*) dan kurun waktu (*duration*). Durasi menerangkan lamanya waktu yang dihabiskan untuk menyelesaikan sebuah kegiatan sedangkan waktu menerangkan urutan dari item pekerjaan yang harus dilakukan secara runtut dan jelas (Ezekiel R, dkk, 2016)

Hal terpenting dalam menyusun penjadwalan proyek adalah dengan memilih fase pada proyek dalam durasi waktu serta proses yang sesuai dengan rencana dari ketersediaan sumber daya manusia. (Li Xue, dkk, 2017)

2.5.1. Metode CPM (*Critical Path Methode*)

Metode CPM dipresentasikan menggunakan diagram dengan panah, pada metode CPM suatu kegiatan digambarkan dan ditentukan dalam bentuk jaringan kerja (*network*) yang merepresentasikan hubungan ketergantungan kegiatan yang satu dengan kegiatan yang lainnya, namun metode ini terdapat kelemahan dimana hubungan *start to finish* membuat banyak hubungan sehingga terbentuklah kegiatan dummy yang banyak (Lakisto B. 2005).

CPM yaitu dasar untuk pengendalian serta perencanaan dari kemajuan sebuah pekerjaan suatu proyek dengan dilandasi oleh jaringan kerja atau *network* (Ezekiel, dkk. 2016).

Metode CPM mengansumsikan waktu kegiatan sudah pasti, sehingga waktu dalam menyelesaikan pekerjaan dimisalkan sudah diketahui (Agustiar, I, dkk. 2018)

2.5.2. Bagan Balok (Barchart)

Untuk menggambarkan kegiatan biasanya digunakan balok berbentuk horizontal. Sementara semakin panjangnya pada balok mengartikan lama dari waktu pelaksanaan. Sumbu y pada bagan balok menampilkan kegiatan pekerjaan sementara sumbu x menampilkan waktu atau lama durasi pekerjaan dalam kurun hari, minggu atau bulan (Iwawo E.R. 2016)

2.5.3. Kurva S

Pada kurva S, garis mendatar atau horizontal menandakan waktu atau kalender pada durasi pekerjaan proyek pembangunan sementara garis vertikal pada kurva S mempresentasikan nilai bobot, dimana nilai bobot atau persentase ini didapatkan dari biaya per-item pekerjaan dibagi dengan jumlah komulatif dari seluruh biaya (Iwawo E.R. 2016)