

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penjelasan Umum Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan

Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip merupakan gedung di Universitas Diponegoro yang diresmikan pada Kamis, 10 Agustus 2023. Terdapat berbagai fasilitas menarik yang dibangun pada gedung ini seperti *cafe bar* dan perpustakaan menjadikan gedung ini harus dibangun menggunakan struktur yang kuat dan tetap efisien.

Oleh karena itu, dilakukan perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip yang ditinjau berbasis BIM 5D dengan menggunakan sistem bangunan tahan gempa yang terintegrasi pada struktur atas bangunan. Perencanaan tahap awal yaitu perhitungan *preliminary design* dan beban struktur yang berdasar pada (SNI 1727:2020) tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan (PPIUG 1983) tentang Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983.

Perencanaan ketentuan struktur beton menggunakan acuan (SNI 2847:2019) tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan (SNI (2847:2013) tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Pada perencanaan struktur bangunan tahan gempa didasarkan pada (SNI 1726:2019) tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2.2 *Building Information Modelling (BIM)*

Building Information Modeling (BIM) merupakan salah satu *software* yang berfungsi sebagai alternatif komunikasi model bangunan dalam beberapa hasil analisis. *Building Information Modeling (BIM)* menjadi salah satu bentuk representasi digital untuk memenuhi karakteristik fungsional secara fisik untuk meningkatkan kualitas fasilitas (Pantiaga, 2021).

6. *Building Information Modeling (BIM)* sering digunakan sebagai alat perencanaan struktur bagi pelaku proyek konstruksi. Didukung oleh Telaga (dalam jurnal Pantiaga, 2021), implementasi penggunaan BIM pertama kali didokumentasikan pada tahun 2012 di Indonesia dalam artikel terbitan pertama

pembahasan BIM di Indonesia yang terbit di tahun 2013. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa negara maju telah menggunakan BIM sejak tahun 2000. Maka dari itu, penggunaan BIM dalam proses perencanaan sebuah struktur bangunan harus diterapkan di Indonesia untuk meningkatkan efektifitas dan hasil yang maksimal dalam analisis suatu struktur bangunan.

Building Information Modeling (BIM) memiliki tahapan dimensi perencanaannya. Modeling yang pertama, memiliki BIM 2D dan 3D berfokus pada *building data* dan *information*, BIM 4D berfokus pada jadwal suatu perencanaan bangunan, BIM 5D berfokus pada *work breakdown structures*, BIM 6D berfokus pada *energy analysis*, dan BIM 7D pada *building life cycles* (Rachmawati, 2022). Secara rinci, pembagian BIM menurut modul pelatihan perencanaan konstruksi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2018) sebagai berikut:

1. BIM 2D: Pemodelan desain paling awal dalam gambar kerja berbentuk sketsa denah, gambar detail, dan potongan yang memiliki nilai panjang atau lebar dan tinggi.
2. BIM 3D: Pemodelan visualisasi bangunan keseluruhan yang merupakan hasil pengembangan BIM 2D untuk melihat arah bangunan dari sumbu x, y, dan z atau panjang, lebar, dan tinggi. BIM 3D memungkinkan untuk mengetahui adanya *clash* antara struktur dan arsitektur.
3. BIM 4D: Pengembangan BIM 3D yang dihubungkan dengan penjadwalan pembangunan atau *schedule* untuk merencanakan lama kerja dan tahapan kerja suatu proyek. BIM 4D juga membantu melakukan pengawasan terhadap rencana dan realisasi *progress* pembangunan.
4. BIM 5D: Integrasi BIM 3D dan 4D untuk menampilkan volume kebutuhan proyek dan membuat *Work Breakdown Structure* untuk estimasi biaya suatu proyek pembangunan.
5. BIM 6D: Proses analisis yang menghasilkan nilai aspek ramah lingkungan (*energy analysis*).
6. BIM 7D: Pemodelan yang membantu pengelolaan fasilitas dan aset dari tahap desain hingga pembongkaran. BIM 7D juga memberikan rekomendasi pemeliharaan yang tepat dalam suatu bangunan.

Perencanaan BIM 5D Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip melalui tahap pemodelan 2D digambar menggunakan Autocad dan perhitungan berdasarkan (SNI 2847:2013) dan (SNI 2847:2019). Dilanjutkan analisis menggunakan SAP2000 untuk mengetahui kekuatan elemen struktur terhadap pembebanan yang ditinjau berdasarkan (PPIUG 1983) dan (SNI 1726:2019). Selanjutnya, analisis dikembangkan dalam bentuk 3D dengan *Revit* sebagai acuan untuk mengetahui volume struktur pembangunan. Hasil 3D akan diintegrasikan dengan *software Microsoft Project* untuk pembuatan penjadwalan proyek dan pembuatan simulator menggunakan *naviswork*.

2.2.1 AutoCAD

AutoCAD merupakan salah satu *software* yang menghasilkan gambar kerja dengan presisi tinggi berbentuk 2 dimensi (Alghifari, dkk, 2023). Pada umumnya *AutoCAD* diintegrasikan oleh *Autodesk* sebagai salah satu aplikasi yang dapat melakukan penerjemahan bahasa gambar baik 2D hingga 3D yang berfokus pada desain dan penugasan analisis desain secara lebih detail. Dalam proyek konstruksi, *AutoCAD* telah digunakan oleh kontraktor, konsultan perencanaan, dan sebagian pekerja *modelling structure*. Di dunia konstruksi terutama pada perencanaan struktur bangunan, *software* ini dapat membantu pembuatan desain yang sesuai dengan kondisi lapangan untuk membuat pekerjaan struktur, arsitektural, dan perencanaan *Mechanical, Electrical, dan Plumbing* (MEP).

Pada tahap awal perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip akan dibuat desain struktur awal pada bentuk layout denah yang meliputi letak, panjang, dan lebar denah balok, letak kolom struktur, posisi tangga dan lift, letak dinding, serta fungsi ruangan dalam setiap lantai bangunan.

2.2.2 SAP2000

Sap2000 merupakan *software* yang digunakan untuk melakukan analisis kekuatan struktur dari gambar 2D untuk mendeteksi kerusakan akibat beban maksimum yang mungkin terjadi pada Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip. Pada pekerjaan konstruksi Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip, *SAP2000* digunakan untuk membuat perencanaan struktur terhadap beban

mati bangunan, beban hidup, beban mati tambahan yang meliputi peralatan arsitektur dan MEP, serta menganalisis pengaruh bangunan terhadap beban gempa.

Didukung oleh Sari, dkk (2024), *SAP2000* melakukan analisis statis dan dinamis yang terintegrasi dalam satu database berisi hasil beban struktur dan nilai kebutuhan tulangan untuk menghitung kebutuhan tulangan dalam suatu pekerjaan proyek. Nilai ini digunakan sebagai acuan untuk pemodelan 3D.

2.2.3 Revit

Pada umumnya, para pelaksana konstruksi sudah menggunakan aplikasi *Autodesk Revit* sebagai aplikasi untuk merencanakan sebuah struktur gedung bangunan, jembatan, dan infrastruktur lainnya. *Autodesk Revit* merupakan salah satu *software* dari *Autodesk* yang menghasilkan gambar akhir berupa *modeling* 3D. Menurut Pratama (2022), volume pekerjaan dan analisa hasil perencanaan menjadi hasil output dari program *Autodesk Revit*. Hal ini memberi kemudahan terutama bagi pelaksana konstruksi untuk melakukan proses desain yang membutuhkan efisiensi dan ketepatan waktu yang sangat baik.

Autodesk Revit memiliki beberapa manfaat yang menunjang bagi proses perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip diantaranya sebagai media digital yang membantu proses manajemen pelaksanaan konstruksi dari awal hingga akhir, sebagai pemodelan yang nantinya akan dilanjutkan dengan proses integrasi model desain ke penjadwalan proyek tahap berikutnya.

2.2.4 Microsoft Project

Perencanaan bangunan memiliki berbagai tahapan perhitungan struktur yang membutuhkan ketelitian khusus. Untuk itu, dibutuhkan *software* atau perangkat yang dapat memberi kemudahan bagi pekerja konstruksi agar dapat melakukan perencanaan yang efektif dan efisiensi baik dari aspek waktu, tenaga, maupun biaya. *Microsoft Project* merupakan salah satu aplikasi penjadwalan proyek yang memudahkan pekerjaan penjadwalan.

Menurut Rachmawati (2022), *Microsoft Project* memiliki tahapan alur pelaksanaan yang pertama *Microsoft Project* harus melalui pengaturan awal

terlebih dahulu, meliputi data *Work Breakdown Structure* (WBS) dan data perhitungan lain yang dibutuhkan. Dilanjutkan dengan melakukan input data berkaitan dengan nama pekerjaan, lama pekerjaan, pekerjaan sebelum dan sesudah proyek (*predecessors*), dan jam kerja tenaga kerja yang melakukan pekerjaan.

Dengan demikian, terdapat beberapa output yang dihasilkan dari *microsoft project* yang pertama berupa *gant chart* yaitu bagan horizontal yang memberi gambaran jadwal selama siklus proyek berlangsung. Selain itu, *network diagram* yang merupakan visualisasi urutan kegiatan proyek selama siklus proyek berlangsung.

2.2.5 Navisworks

Navisworks merupakan *software* yang termasuk dalam perencanaan *Building Information Modeling* (BIM) yang dikembangkan oleh *Autodesk*. *Navisworks* digunakan untuk mengintegrasikan *Building Information Modeling* (BIM) dari pemodelan 3D ke analisis 5D dalam bentuk simulasi hasil penjadwalan dan simulator model 3D Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip.

Menurut Prayoga (2023), *navisworks* tidak menyediakan kebutuhan pemodelan 3D atau memodifikasi data dalam model desain tersebut. *Naviswork* memiliki berbagai fitur yang disesuaikan dengan fokus pembahasan dalam pemodelan. Beberapa fitur yang ada dalam aplikasi *navisworks* berupa *schedule*, *animator*, *quantification workbook*, dan masih banyak lagi (Rachmawati, 2022). Pada perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip, *navisworks* digunakan untuk menghasilkan output perencanaan berupa simulator hasil pemodelan 3D dan penjadwalan yang ditampilkan secara bersamaan dalam bentuk *visualiasi*.

2.3 Perencanaan Gedung Dekanat Fakultas Pertanian Dan Peternakan Undip

Sesuai dengan (SNI 1727:2020) tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Bangunan Gedung dan Struktur Lain, perencana harus menghitung keseluruhan aspek bangunan gedung berdasarkan syarat kekuatan struktur baik dalam kebutuhan dimensi, kebutuhan tulangan pakai untuk struktur beton bertulang, dan faktor resiko yang akan terjadi dalam suatu bangunan. Kekuatan dan

kekakuan struktur diatur dalam (SNI 1727:2020) pasal 1.3 tentang persyaratan dasar, bahwa bangunan direncanakan cukup untuk memperoleh stabil terhadap komponen struktural dan nonstruktural. Kekuatan sendiri suatu bangunan pada analisis bangunan direncanakan dengan suatu kombinasi pembebanan untuk memperoleh beban maksimum yang bekerja terhadap suatu bangunan.

Perencanaan kombinasi pembebanan diatur dalam (SNI 2847:2013) pasal 9.2.1 atau (SNI 1727:2020) pasal 2.3, bahwa kombinasi ini meliputi perencanaan terhadap struktur, komponen, dan pondasi sehingga dihasilkan kekuatan desain sama atau melebihi efek beban terfaktor. Selain itu, struktur juga tidak diperbolehkan melebihi tegangan izin yang telah ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan pada pasal 2.3. Kekuatan yang dapat diterima suatu bangunan harus direncanakan sebagai berikut:

1. Prosedur kekuatan komponen struktural dan nonstruktural harus memiliki kekuatan untuk menahan kombinasi pembebanan pada pasal 2.3 tentang kombinasi dasar yang berkaitan dengan material konstruksi.
2. Prosedur tegangan izin komponen struktural dan nonstruktural harus memiliki kekuatan untuk menahan kombinasi pembebanan yang digunakan pada pasal 2.3 tentang kombinasi dasar yang berkaitan dengan material konstruksi.
3. Perencanaan memenuhi kombinasi pembebanan beban seismik sesuai pasal 2.3.6 yang harus diperhitungkan sebagai tambahan kombinasi dasar dan tidak perlu diperhitungkan bersamaan dengan beban angin.

2.4 Konsep *Preliminary Design* dan Perhitungan Tulangan Struktur Atas Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip

2.4.1 Perhitungan Rencana Balok

Balok merupakan elemen struktural yang memiliki momen lentur dan gaya geser dengan menerima gaya transversal pada sumbu di setiap bentang. Balok menjadi struktur yang menopang beban di atasnya seperti pelat lantai dan penyalur beban momen menuju kolom (Afnaldi, dkk. 2022).

Balok harus memiliki kekuatan stabilitas agar dapat menahan gaya dari beban yang terjadi pada bangunan. Stabilitas yang dimiliki balok harus diperhitungkan berdasarkan dimensi balok dan penggunaan baja tulangannya. Pada balok, batang balok sebagai bagian yang memiliki kuat lentur karena menahan gaya tekan dan baja tulangan sebagai bagian yang menahan tegangan tarik.

1. *Preliminary Design Balok*

Preliminary design direncanakan untuk menghitung dimensi balok sesuai (SNI 2847:2013) tabel 9.5 (a) sebagai tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 *Preliminary Design Balok*

Perletakkan Komponen Struktur	h min
Tertumpu Sederhana	$\ell / 16$
Satu Ujung Menerus	$\ell / 18,5$
Kedua Ujung Menerus	$\ell / 21$
Kantilever	$\ell / 8$

Sumber: (SNI 2847:2019)

Dengan demikian, ditentukan rumus *preliminary design* balok untuk tinggi struktur sebagai berikut:

- a. Balok Induk $= h = \frac{L}{12}$
- b. Balok Anak $= h = \frac{L}{16}$
- c. Kantilever $= h = \frac{L}{8}$
- d. *Tie Beam* $= h = \frac{L}{18,5}$

Perencanaan lebar balok dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$b = \frac{1}{2} h$$

Sesuai dengan (SNI 2847:2019) pasal 18.6.2.1, dimensi balok harus memenuhi syarat:

- a. Bentang bersih (ℓ_n) $\geq 4 d$ efektif.

- b. Lebar (bw) $\geq$ nilai minimum dari 0,3h dan 250 mm (balok induk).
- c. Lebar (bw) $\geq$ nilai minimum dari 0,3h.
- d. Lebar (bw) $<$ nilai minimum b kolom penumpu dan 0,75 h kolom.

Dengan:

h = tinggi balok (mm)

b = lebar balok (mm)

2. Perhitungan Tulangan Balok

Balok memikul beban lentur dan geser yang harus direncanakan sesuai syarat sebagai berikut:

a. Perhitungan Tulangan Lentur Tarik dan Tekan

Tulangan balok memiliki syarat rasio tulangan yang harus dipenuhi sesuai (SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1, bahwa rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi 0,025 berdasarkan diameter efektif tulangan. Perhitungan tersebut dirumuskan sebagai berikut:

Menentukan koefisien ketahanan (R_n). jika $f'_c > 28$ Mpa digunakan:

$$\beta = 0,85 - \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \times 0,05 > 0,65$$

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

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_b$$

$$A_s \text{ Perlu Tekan} = \rho \times b \times d \text{ efektif}$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \text{ ((SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1)}$$

$$A_s \text{ Tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan (n)} = \frac{A_s \text{ perlu tekan}}{A_s \text{ tulangan}}$$

Sesuai (SNI 2847:2013) pasal 21.3.4.1, A_s tulangan tekan dinyatakan sebagai berikut:

$$A_s \text{ Perlu Tekan} = \frac{1}{3} A_s \text{ Pakai Tarik}$$

Syarat:

As Pakai > As Perlu

Dengan:

β = distribusi tegangan

ρ = rasio batasan tulangan

As = luas tulangan (mm²)

b. Kontrol Regangan Tarik Balok

Regangan balok dirumuskan sebagai berikut:

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

$$Mn \text{ Perlu} = \frac{Mu}{\phi}$$

$$\phi Mn \text{ Hitung} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - (\frac{a}{2}))$$

Syarat:

$\phi Mn \text{ Hitung} > Mn \text{ Perlu}$.

Dengan:

Mn = momen lentur nominal (kNm)

Mu = momen terfaktor (kNm)

c. Perhitungan Kuat Geser

Sesuai (SNI 2847:2013) pasal 21.5.4.1 bahwa gaya geser nominal (V_c) ditentukan berdasarkan peninjauan gaya statis bagian komponen antar muka tumpuan.

Diperoleh kuat geser nominal (V_c) (SNI 2847:2013) pasal 11.2.1.1 untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur:

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_n = V_u / \phi$$

Syarat kontrol geser (SNI 2847:2019) pasal 7.5.1.1:

$V_n > V_c$ (Memenuhi)

$V_u > \phi V_c$ (Memenuhi)

Tulangan geser ($A_v \text{ min}$) harus disediakan apabila $V_u > \phi V_c$ dengan rumusan sebagai berikut:

$$A_v \text{ Pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki}$$

$$S \text{ Perlu} = \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v / S \text{ Perlu}}$$

Sesuai (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4, terdapat batasan jarak tulangan geser sebagai berikut:

$$S \text{ min} = 100 \text{ mm}$$

$$S \text{ maks 1} = \frac{1}{4}d'$$

$$S \text{ maks 2} = 6D$$

$$S \text{ maks 3} = 150 \text{ mm}$$

Dengan:

V_c = kuat geser nominal beton (kN)

V_u = kuat geser terfaktor (kN)

V_n = kuat geser nominal (kN)

A_v = luas tulangan geser (mm^2)

ϕ = faktor reduksi geser desain bangunan gempa = 0,6

2.4.2 Perhitungan Rencana Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan komponen struktur yang letaknya tidak langsung berada di atas tanah yang merupakan pembatas tingkat satu dengan tingkat yang lainnya. Menurut Azzura (2025), pelat lantai merupakan struktur yang menjadi diafragma atau pengaku horizontal, sehingga perlu direncanakan ketebalan minimum pakai berdasarkan beban mati dan beban hidup struktur yang bekerja di atasnya sesuai (SNI 2847:2019).

Pelat lantai pada perencanaan ulang Gedung Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro dibuat menggunakan struktur beton bertulang. Struktur ini dihitung dengan memberikan tulangan baja sebagai material yang menahan tarik pada bangunan tersebut.

1. *Preliminary Design Pelat*

Pelat lantai diperhitungkan berdasarkan rasio panjang bentang dari arah sumbu x dan sumbu y. Rasio tersebut untuk menentukan jenis pelat lantai

dan perhitungan tebal pelat atap yang seharusnya digunakan sesuai syarat perhitungan.

Jenis pelat lantai dirumuskan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} < 2 \text{ pelat dua arah}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} > 2 \text{ pelat satu arah}$$

Melalui perhitungan rasio, ditentukan rasio kuat lentur balok terhadap kuat lentur pelat (afm) pada balok memanjang dan balok melintang seperti pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Non Prategang

afm	h minimum (mm)	
$afm \leq 0,2$	Sesuai tabel 9.5.3.2 SNI 2847:2013	
$0,2 < afm < 2$	Tidak kurang dari	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (afm - 0,2)}$
		125 mm
$afm > 2$	Tidak kurang dari	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90 mm

(Sumber: SNI 2847:2013) pasal 9.5.3.3

2. Perhitungan Tulangan Pelat

Perencanaan dimensi pelat lantai dilanjutkan dengan perhitungan kebutuhan baja tulangan yang seimbang antara mutu beton dengan mutu baja yang digunakan. Tahapan perhitungan tersebut sebagai berikut:

a. Menentukan Batasan Tulangan

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

b. Menghitung Koefisien Tahanan Balok (Rn)

$$Mn \text{ perlu} = \frac{Ml/t}{\phi}$$

$$Rn = \frac{Mn \text{ Perlu}}{b \times dx/y^2}$$

Dengan:

Mn Perlu = momen nominal (kNm)

ϕ = faktor reduksi = 0,8

c. Luas Tulangan Perlu

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

Jika $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max}$ maka digunakan $\rho \text{ min}$:

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dx$$

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times n \times \pi \times D^2$$

Syarat:

As Hitung > As Perlu

d. Cek Kapasitas Lentur

$$a = \frac{As \text{ hitung} \times fy}{0,85 \times fc \times b}$$

$$Mn \text{ hitung} = As \text{ pakai} \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Syarat:

Mn Hitung > Mn Perlu (Memenuhi)

e. Kontrol Lendutan Pelat

Sesuai dengan (SNI 2847:2019) pasal 8.3.2.1 lendutan sesaat dan jangka panjang pelat harus diperhitungkan sesuai tabel 24.2.2 yang ditampilkan pada tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Acuan Batas Lendutan

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L , dan R maksimum	$l/180^{[1]}$
Lantai			Lendutan seketika akibat L	$l/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup ^[2]	$l/480^{[3]}$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$l/240^{[4]}$

Sumber: (SNI 2847:2019)

Pelat lantai direncanakan sebagai struktur yang memikul dengan elemen nonstruktural dan diasumsikan tidak akan rusak akibat lendutan yang besar. Batas lendutan Pelat lantai dihitung sebagai berikut:

$$\delta_{\max} = \frac{Lx}{240}$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \times q \times \frac{Lx^3}{E_c \times I_e}$$

Lendutan jangka panjang dihitung berdasarkan faktor waktu bangunan menahan beban tetap sesuai (SNI 2847:2019) tabel 24.2.4.1.3 sebagai tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Faktor Waktu Lendutan Pelat (ξ)

Durasi beban tetap, dalam bulan	Faktor pengaruh waktu ξ
3	1,0
6	1,2
12	1,4
60 atau lebih	2,0

Sumber: (SNI 2847:2019)

Lendutan jangka panjang akibat rangka dan susut dihitung berdasar pasal R24.2.4.1 sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho}$$

$$\delta_g = \lambda \times qU$$

$$\delta_{\text{total}} = \delta_e + \delta_g$$

Syarat:

$$\delta_{\text{total}} < \delta_{\text{max}}$$

Dengan:

q_U = beban total (N/mm)

δ = lendutan (mm)

2.4.3 Perhitungan Rencana Kolom

Kolom adalah komponen struktur yang menahan beban vertikal. Struktur ini meneruskan beban yang diterima oleh balok dan pelat lantai untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi (Rumbyarso, 2021).

Terdapat beberapa jenis kolom yang digunakan pada struktur bangunan gedung yaitu kolom baja, kolom pengikat spiral, kolom komposit, dan kolom pengikat sengkang lateral. Pada perencanaan ulang Gedung Fakultas Teknik Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro, direncanakan struktur bangunan tahan gempa dengan struktur kolom beton bertulang dengan sengkang lateral. Tulangan sengkang lateral berfungsi untuk menjaga agar tulangan pokok tetap kokoh dan tidak bergeser saat dilakukan pengecoran.

Menurut Pasaribu (2023), kolom memikul beban aksial ultimit dan momen ultimit secara bersamaan, sehingga perhitungan dimensi dan pembebanan pada kolom diperhitungkan berdasarkan beban yang dialami oleh bangunan melalui beban pelat antara balok induk dengan penghubung balok induk lainnya.

1. *Preliminary Design Kolom*

Perencanaan dimensi kolom dihitung berdasarkan kolom yang menopang beban terbesar pelat. Sesuai (SNI 2847:2019) pasal R12.5.1.4, beban kolom diperhitungkan sebagai berikut:

$$P = 1,2 q_D + 1,6 q_L$$

Dimensi kolom dirumuskan sesuai berikut:

$$A = \frac{P}{\phi \times f'_{rc}}$$

$$B = \sqrt{A}$$

Dengan:

A = luas penampang (cm²)

B = lebar penampang (cm)

P = beban aksial rencana (kg)

2. Perhitungan Tulangan Kolom

Berdasarkan (SNI 2847:2013) pasal 21.6.1 dimensi kolom harus dipenuhi berdasarkan:

- Menerima beban aksial berfaktor lebih besar dari: $\frac{A_g \times f'_c}{10} < P_u$ (OK)
- Ukuran penampang terpendek: $b \geq 300$ mm (OK)
- Rasio: $\frac{b}{h} > 0,4$ (OK)

Pada struktur kolom beton bertulang, diperhitungkan beberapa syarat terhadap kekuatan baja tulangan seperti:

a. Rasio Tulangan

Syarat rasio tulangan berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 18.7.4.1, dengan syarat:

$$1\% < \frac{A_s \text{ Pakai}}{b \times h} < 6\%$$

b. Kapasitas Beban Aksial Kolom terhadap Beban Terfaktor

Sesuai (SNI 2847:2013) pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor ($\phi P_n > P_u$) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$ab = \frac{0,003 \times E_s}{0,003 \times E_s \times f_y} \times \beta_1 \times d'$$

$$\phi P_n = 0,85 \times f'_c \times ab \times b$$

Syarat:

$\phi P_n > P_u$ (Memenuhi)

Dengan:

ab = kondisi keruntuhan imbang (mm)

P_n = beban aksial nominal (kN)

P_u = beban aksial terfaktor (kN)

Kapasitas beban aksial kolom harus diperhitungkan terhadap eksentrisitas yang terjadi akibat beban yang bekerja di sekitar kolom. Hal ini dikarenakan struktur kolom mengalami rentan kegagalan akibat

gaya eksentris dibandingkan kolom yang menerima gaya sentris. Oleh karena itu, struktur kolom harus mampu menahan kombinasi gaya tekan dan momen lentur yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\phi P_n e_b = \phi P_n x e_b + A_s' x f_y x (d - d' - d'') + A_s x f_s x d''$$

Syarat:

$$\phi P_n e_b > M_u$$

c. Periksa Eksentrisitas Baja Tulangan Longitudinal dan Transversal

Tegangan baja tulangan tekan (ϵ_s):

$$C_b = \frac{a_b}{\beta_1}$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \times \frac{C_b - d'}{C_b}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Syarat (SNI 2847:2019) tabel 21.2.2:

$$\epsilon_s' > \epsilon_y$$

Dengan:

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa}, (\text{SNI 2847:2013}) \text{ pasal 8.5.2.}$$

d. Periksa Gaya Geser (V_c)

Gaya geser rencana (V_c) diperhitungkan untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom. Berdasarkan (SNI 2847:2013) pasal 21.6.3.1 gaya maksimum yang dihasilkan setiap joint komponen struktur ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimal yang mungkin (M_{pr}). Dalam menghitung geser rencana (V_c), tidak boleh kurang dari geser terfaktor (V_u) berdasarkan analisis struktur.

$$M_{pr} = \frac{M_u}{\phi}$$

$$V_c = \frac{2 \times M_{pr}}{L_n}$$

Syarat:

$$V_c > V_u \text{ (Memenuhi)}$$

e. Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Luas tulangan pakai untuk geser kolom dirumuskan sebagai berikut:

$$A_v \text{ Pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki}$$

$$S \text{ Perlu} = \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v / S \text{ Perlu}}$$

Sesuai (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4, terdapat batasan jarak tulangan geser sebagai berikut:

$$S \text{ min} = 100 \text{ mm}$$

$$S \text{ maks 1} = \frac{1}{4}h$$

$$S \text{ maks 2} = 6D$$

$$S \text{ maks 3} = 150 \text{ mm}$$

2.4.4 Perhitungan Rencana Tangga

Struktur tangga menjadi struktur penghubung antar tingkat pada bangunan *high rise building*. Struktur tangga terdiri dari pelat tangga dan pelat bordes. Tangga memiliki jenis permanen dan tidak permanen.

Pada tangga permanen, pelat tangga (anak tangga) bertumpu pada pelat lantai. Sedangkan, pelat bordes tangga bertumpu pada balok bordes tangga. Menurut Silitonga, dkk (2023), tangga memiliki kemiringan ideal yang harus dipenuhi yaitu sebesar $25^\circ < \alpha < 40^\circ$. Perhitungan kemiringan tangga dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\frac{1}{2} \times \text{tinggi tangga}}{\text{panjang datar tangga}} \right)$$

Syarat:

$$25^\circ < \alpha < 40^\circ$$

2.5 Pembebanan

Struktur bangunan tahan gempa memiliki tingkat pembebanan gempa yang berbeda tergantung pada material struktur bangunan itu sendiri. Berdasarkan pada (SNI 2847:2013), ketentuan desain standar harus sesuai asumsi struktur yang mampu memikul semua beban yang diterima. Berdasarkan pasal 8.2.3, perencanaan beban angin dan beban gempa juga harus diterapkan untuk memperhitungkan beban

lateral keseluruhan. Konsep atau kriteria pembebanan gempa diperhitungkan agar tidak menimbulkan kerusakan struktur dan arsitektural.

Menurut Prayoga (2021), pembebanan struktur untuk bangunan bertingkat diperhitungkan sebagai satu kesatuan kerja dimana beban yang bekerja meliputi beban mati, beban hidup, beban mati tambahan, beban angin, dan beban gempa.

2.5.1 Beban Mati

Beban mati merupakan salah satu beban yang harus diperhitungkan. Beban mati dapat diperhitungkan melalui berat sendiri suatu komponen struktur dan evaluasi berat yang berasal dari material partisi non struktural permanen, berat komponen bangunan yang volumenya diperhitungkan dalam pemodelan.

Beban mati tambahan juga diperhitungkan dari berat, finishing lantai, berat dinding, berat plafond, berat penggantung plafond, berat plumbing, sanitasi, dan komponen arsitektural dan struktural, serta sistem pengangkut material dalam pembangunan gedung (SNI 1727:2020) pasal 3.1.1 halaman 21 dan (PPIUG 1983) tabel 2.1.

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup berasal dari penghuni gedung dan non gedung. Perhitungan beban hidup tidak termasuk dari beban konstruksi dan beban lingkungan. Beban hidup juga diperhitungkan dari material atau barang barang dalam suatu bangunan yang dapat berpindah atau dipindahkan, beberapa mesin-mesin yang memiliki tingkat kebutuhan yang dapat diganti sesuai kebutuhan (Prayoga, 2021).

Beban hidup diakibatkan karena adanya aktivitas tambahan yang tergolong dinamis dan diatur dalam (SNI 1727:2020) pasal 4.3.1, bahwa beban hidup yang direncanakan harus terdistribusi secara merata. Selain itu, beban hidup dapat ditentukan berdasarkan fungsi lantai bangunan menurut (PPIUG 1983) tabel 2.1.

2.5.3 Beban Hujan

Pada pembebanan bangunan tahan gempa, direncanakan beban hujan yang masuk dalam perhitungan perencanaan atap. Pada struktur atap bangunan tahan gempa, harus dirancang dengan tepat agar apabila sistem drainase primer mengalami

kerusakan. Beban hujan menurut PPIUG 1983 Tabel 3.1, disyaratkan beban air hujan sebesar 20 kg/m^2 . Beban hujan diperhitungkan terhadap beban hidup yang bekerja pada atap bangunan.

2.5.4 Perhitungan Beban Angin

Perencanaan beban angin pada gedung dan non gedung termasuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) serta elemen pada Komponen dan Klading (K&K) bangunan gedung harus menggunakan prosedur yang tertera dalam (SNI 1727 : 2020) pada pasal berikut 30.4.1 sesuai pada langkah dibawah ini:

1. Menentukan kecepatan angin rata rata Kota Semarang berdasarkan data peraturan Daerah No. 7 tahun 2014 tentang Rencana Induk Sistem Drainase Kota Semarang.
2. Menentukan faktor arah angin (K_d) sesuai (SNI 1727:2020) tabel 26.6-1 yang ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor Arah Angin (K_d)

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	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

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

(Sumber: SNI 1727:2020)

3. Menentukan koefisien faktor topografi (K_{zt}) sesuai eksposur angin pada (SNI 1727:2020) pasal 26.8.1 dengan nilai $K_{zt} = 1$.
4. Menentukan tekanan kecepatan angin berdasarkan (SNI 1727:2020) pasal 26.10.1 yang ditunjukkan pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Tekanan Kecepatan Angin (K_e)

Elevasi tanah di atas permukaan laut (Sea Level)		Faktor elevasi permukaan tanah
Ft	m	K_e
< 0	< 0	Lihat catatan 2
0	0	1,00
1.000	305	0,96
2.000	610	0,93
3.000	914	0,90
4.000	1.219	0,86
5.000	1.524	0,83
6.000	1.829	0,80
> 6.000	> 1.829	Lihat catatan 2

CATATAN

1. Perkiraan konservatif, boleh diambil $K_e = 1,00$ dalam semua kasus.
2. Faktor K_e harus ditentukan dari tabel di atas dengan menggunakan interpolasi atau dari rumus berikut untuk semua elevasi:

$$K_e = e^{0,0000362z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam ft}).$$

$$K_e = e^{0,000119z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam m}).$$
3. Dalam semua kasus K_e boleh diambil sebesar 1,00.

(Sumber: SNI 1727:2020)

5. Menentukan faktor hembusan angin (G).
6. Menghitung koefisien tekanan (GCP_i) dan (C_p) berdasarkan (SNI 1727:2020) pasal 26.12.3.2 yang ditampilkan dalam tabel 2.7.

Tabel 2.7 Koefisien Tekanan Dinding

Koefisien tekanan dinding, C_p			
Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0 – 1	- 0,5	q_h
Dinding di sisi angin pergi	2	- 0,3	q_h
	≥ 4	- 0,2	q_h
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	q_h

(Sumber: Penulis, 2025)

7. Menghitung eksposur tekanan velositas (K_z) sesuai (SNI 1727:2020) tabel 26.22-1 yang dirumuskan sebagai berikut:

Untuk $4,6 \text{ m} \leq Z \leq Z_g$:

$$K_z = 2,01 (Z/Z_g)^{2/\alpha}$$

8. Menghitung kecepatan velositas angin untuk menghitung beban yang bekerja pada struktur. Kecepatan velositas berdasarkan (SNI 1727:2020) pasal 27.1.5 diperhitungkan batasan yang bekerja dengan rumusan sebagai berikut:

$$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times K_e \times V^2$$

Jika, $q_z < q_i$, digunakan nilai q_i sebagai kecepatan velositas pakai.

Dengan:

q_z = beban angin rencana (kN/m^2)

q_i = beban angin pakai (kN/m^2)

9. Menentukan besar tekanan angin sesuai (SNI 1727:2020) pasal 27.3.1 sebagai berikut:

$$p = q_i \times G \times C_p - q_z (GCP_i)$$

Dengan:

p = tekanan angin (kN/m^2)

2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan (SNI 1726:2019) dan (SNI 2847:2013)

Pada perencanaan struktur gedung bangunan tahan gempa perlu adanya keselarasan antara denah bangunan, material bangunan, dan struktur yang digunakan dalam merancang Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip. Perencanaan tahap awal ini harus diperhitungkan terlebih dahulu untuk menentukan prosedur sistem yang efektif untuk membangun sebuah struktur perencanaan tahan gempa. Menurut Tamba dan Panjaitan (2025), sistem struktur bangunan tahan gempa akan mengalami gerakan secara vertikal dan horizontal. Oleh karena itu, perhitungan harus difokuskan terhadap titik massa struktur yang sesuai dengan ragam kombinasi.

Pedoman yang digunakan dalam perencanaan ulang Gedung Bangunan Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip menggunakan (SNI 1726:2019) sebagai pedoman perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan. Sebagai pedoman tentang spesifikasi beton dan kombinasi pembebanan pada bangunan menggunakan (SNI 2847:2013) yang berkaitan dengan perilaku keruntuhan dan konsep perencanaan struktur beton.

2.6.1 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa merupakan standar untuk menentukan beban gempa dalam perencanaan struktur sebuah bangunan. Dalam (SNI 1726:2019) dijelaskan sesuai jenis pemanfaat gedung dan dikelompokkan dalam kategori risiko. Dalam kategori I, II, III dikhususkan untuk gedung dan non gedung yang mengandung bahan beracun yang berbahaya bagi masyarakat apabila mengalami malfungsi.

Dalam kategori risiko IV, difungsikan bagi gedung dan non gedung yang digunakan untuk mempertahankan struktur bangunan lain. Faktor keutamaan gempa ditampilkan sesuai (SNI 1726:2019) tabel 3 dalam pasal 4.1.2 yang dalam hal ini Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip tergolong dalam kategori risiko bangunan IV dan ditampilkan dalam tabel 2.8 dan 2.9.

Tabel 2.8 Faktor Keutamaan Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - 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 pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	IV
Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber: (SNI 1726:2019)

Tabel 2.9 Koefisien 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)

2.6.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs dalam perencanaan sebuah bangunan tahan gempa perlu diklasifikasikan untuk penentuan desain seismik dan penentuan besaran amplifikasi yang terjadi pada percepatan gempa. Berdasarkan acuan (SNI 1726:2019) pasal 5.3, klasifikasi situs ditentukan dalam tabel 2.10.

Tabel 2.10 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 $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

(Sumber: SNI 1726:2019)

Lanjutan Tabel 2.10 Klasifikasi Situs

- 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 $\bar{s}_u < 50$ kPa

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2019)

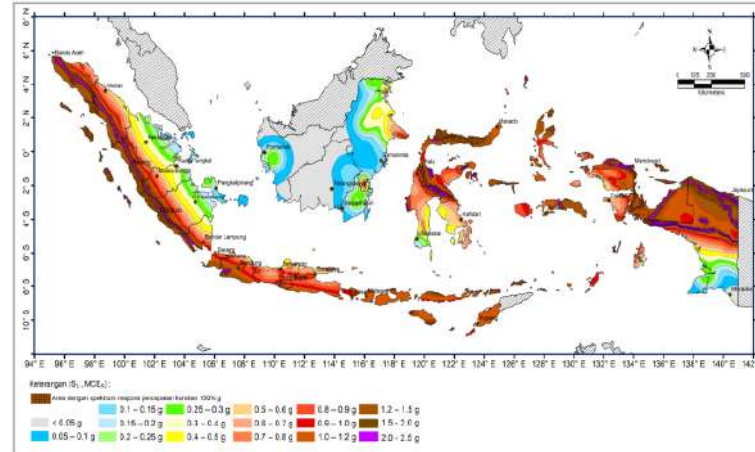
Pada situasi kondisi tanah berpotensi runtuh, lempung gambut dengan ketebalan $H > 3$ m, lempung dengan plastisitas tinggi dengan $h > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$, dan lempung lunak berkekuatan sedang dengan $h > 35$ m maka dapat dikategorikan pada situs kelas SF.

Apabila pada suatu kondisi lapisan memiliki kuat geser sebesar < 25 kPa, ketebalan lapisan lempung lunak > 3 m, indeks plastisitas $PI > 20$, maka kondisi ini dikategorikan pada kelas situs SE. Pada kelas situs SA dan SB ditentukan berdasarkan kecepatan gelombang geser. Situs SB dilakukan pengukuran untuk batuan yang lebih lunak, apabila tidak dilakukan pengukuran, maka disubstitusi ke dalam klasifikasi situs kelas SC.

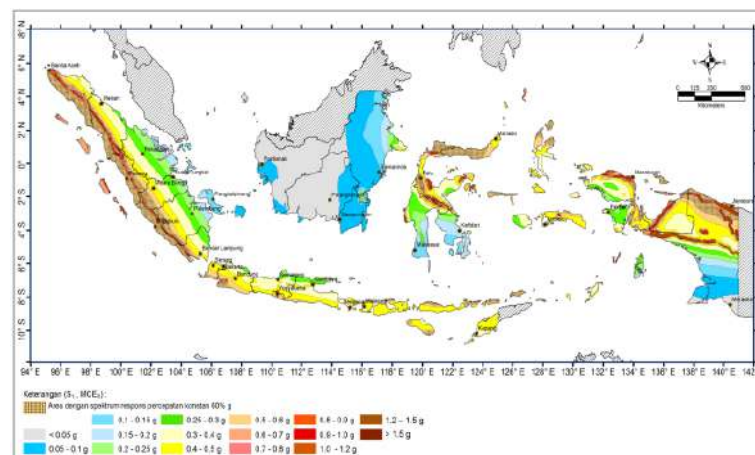
2.6.3 Parameter Response Spektrum Gempa dan Koefisien Situs

Parameter periode 0,2s dan periode 1s digunakan menjadi parameter respon spektral yang terbentuk melalui hasil dari penentuan amplifikasi seismik.

Berdasarkan (SNI 1726:2019) gambar 15 dan 16 diperoleh peta persebaran parameter spektrum respons seperti pada gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Percepatan Respons Spektral Gempa Periode 0,2s (S_s)
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2.2 Percepatan Respons Spektral Gempa Periode 1s (S₁)
(Sumber: SNI 1726:2019)

Parameter spektrum pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Dengan:

S_s = parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R periode pendek 0,2s

S₁ = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R periode 1s

Koefisien F_a dan koefisien F_v ditentukan berdasarkan tabel koefisien berdasarkan pada acuan (SNI 1726:2019) pasal 6.2, sebagai tabel 2.11.

Tabel 2.11 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko- tertarget (MCE_R) pada periode pendek $T = 0,2S_i$					
	$S_i \leq 0,25$	$S_i = 0,5$	$S_i = 0,75$	$S_i = 1,0$	$S_i = 1,25$	$S_i \geq 1,5$
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 2.12 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko- tertarget (MCE_R) pada periode pendek $T = 0,2S_i$					
	$S_i \leq 0,1$	$S_i = 0,2$	$S_i = 0,3$	$S_i = 0,4$	$S_i = 0,5$	$S_i \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.6.4 Spektrum Respon Desain

Respon spektrum merupakan suatu indikasi plot spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik antara periode getar struktur T yang bergantung pada rasio redaman. Terdapat beberapa ketentuan perhitungan spektrum respons desain sebagaimana diuraikan dalam (SNI 1726:2019) pasal 6.3, sebagai berikut:

1. Rumus parameter spektral desain:

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

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

2. Perhitungan periode getar fundamental struktur:

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

$$T_1 = \frac{SD1}{SDs}$$

3. Untuk $T \geq T_0$, spektrum respons percepatan desain S_a , didapatkan:

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

4. Dengan periode $\geq T_0$ dan $\leq T_s$, maka diperoleh

$$S_a(T_s) = S_{DS}$$

Dengan:

S_{DS} = respons spektral percepatan desain periode pendek

S_{D1} = respons spektral percepatan desain periode 1s

T = periode getar fundamental struktur

2.6.5 Menentukan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik pada perencanaan struktur gedung bangunan tahan gempa ditinjau berdasarkan kategori resiko dan parameter percepatan respon spektral yang diterima oleh desain (S_{DS} dan S_{D1}).

Hasil perhitungan untuk menentukan kategori desain seismik akan diinput untuk analisis struktur pada SAP2000 dan diperhitungkan otomatis untuk beban gempa yang bekerja pada sebuah bangunan. Penentuan kategori desain seismik berfungsi untuk menentukan desain sistem sebuah bangunan tahan gempa sesuai dengan keadaan wilayah tinjauan. Pada akhirnya, sistem ini menjadi alternatif yang tepat untuk melakukan efisiensi desain yang akan digunakan.

Berdasarkan acuan (SNI 1726:2019) pasal 6.5 terdapat pedoman respon spektral S_{DS} dan S_{D1} . Hasil dari nilai perhitungan S_{DS} dan S_{D1} digunakan untuk menentukan tingkat risiko kegempaan dari kategori risiko yang diperhitungkan.

Sesuai dengan acuan, nilai yang ditampilkan untuk menentukan tingkat risiko kegempaan ditampilkan dalam tabel 2.13 hingga 2.15 berikut:

Tabel 2.13 Kategori Desain Seismik Periode Pendek 0,2s

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

(Sumber: (SNI 1726:2019))

Tabel 2.14 Kategori Desain Seismik 1s

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau 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)

Tabel 2.15 Kategori Desain Seismik (KDS) dan Risiko Kegempaan

Tinggi Resiko Kegempaan		
Rendah	Menengah	Tinggi
KDS : A , B	KDS : C	KDS : D , E , F
SRPMB / M / K	SRPMM / K	SRPMK

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.6.6 Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya seismik berhubungan dengan kategori desain seismik pada (SNI 1726:2019) pasal 7.2.2. Jenis penahan gaya seismik mempengaruhi koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d).

Koefisien dari modifikasi respon (R), faktor kuat lebih (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) akan digunakan untuk melakukan input pada respon spektrum di SAP2000.

Koefisien ini mendefinisikan perbedaan cara kerja dalam setiap sub sistem bangunan tahan gempa. Hal ini berfungsi agar bangunan bekerja dan mengalami pertahanan sesuai sistem yang telah diaplikasikan ke dalam SAP2000.

Adapun penentuan sistem penahan gaya seismik sesuai pasal 7.2.2 ditunjukkan dalam tabel 2.16.

Tabel 2.16 Sistem Penahan Gaya Seismik

C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10'	TI'	TI'
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI'	TI'	TI'
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^{a)}	8	3	5%	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	5%	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	5%	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 cangsi dingin pemikul momen khusus dengan pembauran ^{b)}	3½	3"	3%	10	10	10	10	10

Sumber: (SNI 1726:2019)

2.6.7 Batasan Periode Getar Struktur (*Fundamental Period*)

Periode getar struktur disimbolkan dengan T atau T_a . Periode getar struktur merupakan hitungan penting untuk menentukan besaran beban gempa yang diterima suatu struktur bangunan. Selain memperhitungkan beban gempa, periode getar struktur juga menentukan besaran beban angin yang nantinya tercantum pada proses analisis suatu bangunan tahan gempa.

Beberapa faktor penunjang perhitungan periode getar struktur meliputi hasil nilai R , I , dan komponen lainnya. Berdasarkan acuan (SNI 1726:2019) pasal 7.8.2.1, periode getar struktur memiliki koefisien batas atas seperti pada tabel 2.17 dan 2.18.

Tabel 2.17 Koefisien Pendekatan C_t dan x

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.18 Koefisien Perioda Batas Atas

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Adapun rumus perhitungan T_a dalam detik dihitung sebagai berikut:

$$T_{\min} = C_t h_n^x$$

$$T_{\max} = C_u \times T_{\min}$$

Dengan:

h_n = tinggi struktur di atas dasar hingga tingkat teratas suatu bangunan

C_t dan x = koefisien yang ditentukan pada tabel 2.11.

2.7 Kombinasi Pembebanan

Seluruh struktur perencanaan bangunan didesain secara teliti untuk meninjau kebutuhan atau fungsi bangunan itu sendiri. Setiap komponen struktur bangunan tahan gempa harus dihitung sesuai dengan kekuatan setara atau melebihi dari beban yang bekerja sesuai kombinasi pembebanan (Tamba dan Panjaitan, 2025).

Oleh karena itu, direncanakan kombinasi pembebanan sesuai (SNI 2847:2020) untuk merencanakan beban minimum dan maksimum yang akan terjadi pada suatu bangunan itu sendiri.

Setiap kondisi batas kekuatan yang relevan harus diselidiki. Didukung (SNI 2847:2013) pasal 9.2.1 dan (SNI 1727:2020) pasal 2.3.1, kombinasi pembebanan terfaktor diuraikan sebagai berikut:

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

Sesuai SNI 726:2019, terdapat kombinasi beban untuk beban gempa. Pada kombinasi pembebanan terhadap efek beban seismik sebagai berikut:

1. $(1,2 + 0,2 Sds)D + 1,0L \pm 1,0Ex \pm 0,3Ey$
2. $(1,2 + 0,2 Sds)D + 1,0L \pm 0,3Ex \pm 1,0Ey$
3. $(0,9 - 0,2 Sds)D + 1,0L \pm 1,0Ex \pm 0,3Ey$
4. $(0,9 - 0,2 Sds)D + 1,0L \pm 0,3Ex \pm 1,0Ey$

Dengan:

- D = beban mati
- H = beban hujan
- W = beban angin
- E = beban gempa
- L = beban hidup gedung
- Lr = beban hidup atap tereduksi

2.8 Analisis Struktur Atas SAP2000

Pemodelan 3D pada perencanaan Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro menggunakan *software Autodesk Revit* dengan acuan pada data dan informasi *Detail Engineering Design (DED)* Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro. Pada gambar 3D, dimensi struktur berasal dari analisis struktur menggunakan SAP2000 sesuai hasil *preliminary design* dan perhitungan tulangan pada bab 2.4.

Menurut Sholeh (2021), analisis struktur menggunakan SAP2000 memiliki beberapa tahapan yang harus dilakukan diantaranya:

1. Membuat model struktur berdasar hasil dari preliminary design.
2. Mendefinisikan properti material, dimensi penampang, jenis pembebanan, dan kombinasi beban.
3. Melakukan analisis struktur.
4. Terdapat 2 kasus setelah melakukan analisis struktur. Pertama, apabila hasil analisis struktur memenuhi, maka selanjutnya dapat melakukan analisis kebutuhan tulangan sesuai hasil output dari SAP2000 yaitu luasan tulangan perlu. Kedua, apabila hasil analisis struktur tidak memenuhi, selanjutnya dapat

diupayakan dengan mengubah dimensi penampang atau mengubah mutu material yang digunakan pada properti material.

2.9 Perencanaan Struktur Bawah Pondasi Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip

Pondasi termasuk struktur bangunan yang terpenting dalam proses perencanaan sebuah bangunan. Pondasi adalah bagian paling bawah dalam struktur sebuah bangunan yang berfungsi mendapatkan dan meneruskan seluruh beban yang berada di atasnya dengan resikonya.

Struktur pondasi terdiri dari pondasi dangkal dan dalam. Menurut Aisah dan Dhiniati (2023), pondasi dangkal meliputi pondasi batu kali, rolag bata, pelat beton lajur. Pondasi dalam meliputi pondasi *bored pile* dan tiang pancang. Didukung oleh Yasin (2022), pondasi di atas tanah batuan lunak dengan kedalaman tanah keras yang dangkal dalam, harus digunakan pondasi dalam berupa tiang pancang. Pada Gedung Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro akan dilakukan analisis pondasi yang semula menggunakan sumuran menjadi pondasi tiang pancang.

Tahap perhitungan pondasi tiang pancang dilakukan sebagai berikut:

1. Daya Dukung Pondasi

Perhitungan daya dukung pondasi dapat dihitung berdasarkan data tanah yang memiliki nilai tahanan konus (q_c) dan total tahanan pelekatan atau geser (t_f).

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang (Q_{ult}) menggunakan metode *Meyerhoff* berdasarkan data *qonus resistance*, kedalaman tanah keras, dan *total frictions*:

$$Q_{ult} = \frac{q_c \times A}{3} + \frac{t_f \times K}{5}$$

$$Q_{netto} = Q_{ult} - \text{Berat 1 Tiang Pondasi (W)}$$

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

Dengan:

Q = daya dukung (kN)

P = beban aksial (kN)

- A = luas penampang pondasi (cm^2)
 W = berat pondasi (kN)
 q_c = *qonus resilience* (kg/cm^2)
 t_f = *total friction*/tahanan geser (kg/cm)
 n = jumlah tiang pondasi

2. Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi pondasi kelompok tiang ditentukan melalui jarak antara pusat tiang ke tepi *pile cap* (S') dan jarak antara tiang (S). Syarat S pada setiap tiang yaitu:

$$S' = 1,5D \sim 2D$$

$$S = 2,5D \sim 4D$$

Diperoleh nilai radius efisiensi (θ) = $\arctan \frac{D}{S}$

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\theta \times (n' - 1) \times m + (m - 1) \times n'}{90 \times m \times n'}$$

Dengan:

Eff = Efisiensi pondasi pada kelompok tiang (%)

n' = jumlah tiang pancang

m = jumlah baris pada tiang pondasi

3. Kapasitas Daya Dukung Izin

$$Q_{\text{izin}} = n \times \text{Eff} \times Q_{\text{netto}}$$

Syarat:

$$Q_{\text{izin}} > P_u$$

Dengan:

Q = daya dukung kelompok pondasi (kN)

P_u = beban aksial pikul pondasi (kN)

4. Menghitung Kapasitas Geser *Pile Cap*

Pada perencanaan *pile cap* diperoleh dimensi yang dihitung berdasarkan jumlah baris dan jumlah tiang perlu yang telah dihitung berdasarkan syarat S . Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 13.4.2.1 disyaratkan tebal *pile cap* ≥ 300 mm.

Pile cap harus diperhitungkan syarat geser, dimana kekuatan geser *pile cap* (ϕV_c) harus lebih besar dari tegangan yang terjadi pada tanah (V_u). Sesuai pasal 13.4.2.3, *pile cap* harus direncanakan memenuhi terhadap gaya geser satu arah pada arah x dan arah y, serta gaya geser dua arah yang dirumuskan sebagai berikut:

b. Kapasitas Geser *Pile Cap* 1 Arah (x dan y)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$d' \text{ efektif} = L - P - d$$

Diperhitungkan daerah pembebanan geser 1 arah:

$$G' = L - \left(\frac{L}{2} + \frac{b \text{ kolom}}{2} + d \right)$$

Gaya geser perlu (V_u) dan gaya geser nominal (V_c):

$$V_u = \sigma \times L \times G'$$

$$\phi V_c = 0,75 \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times L \times d$$

Syarat:

$$\phi V_c > V_u$$

c. Kapasitas Geser *Pile Cap* 2 Arah

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 13.4.2.5 dan pasal 22.6.5.2, digunakan tiga perhitungan untuk memperoleh nilai minimum dari nilai kuat geser pons yang ditentukan untuk beton, nilai tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{c1} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d'$$

$$V_{c2} = \frac{1}{12} \times \left(2 + \frac{a_s \times b}{b_0} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d'$$

$$V_{c3} = \frac{1}{2} \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d'$$

$$V_u = \sigma \times (A - L' \times B')$$

Syarat:

$$\phi V_c = (0,75 \times V_c \text{ min}) > V_u$$

5. Perhitungan Tulangan *Pile Cap*

Menentukan batasan tulangan bawah *pile cap*:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'c}} \right) \\ A_s \text{ Perlu} &= \rho_{\min} \times b \times d'\end{aligned}$$

Menentukan tulangan atas *pile cap*:

$$A_s \text{ Perlu} = 20\% - 50\% \times A_s \text{ Pakai Tulangan Bawah}$$

Syarat:

$$A_s \text{ Pakai} > A_s \text{ Perlu}$$

2.10 Pemodelan 3D Autodesk Revit

Pemodelan 3D pada perencanaan Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro menggunakan *software Autodesk Revit* dengan acuan pada data dan informasi *Detail Engineering Design (DED)* Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro. Pada gambar 3D, dimensi struktur berasal dari analisis struktur menggunakan SAP2000 sesuai hasil *preliminary design* dan perhitungan tulangan pada bab 2.8.

Berdasarkan Suharianto dan Prasetyono (2023), beberapa tahapan pemodelan 3D dengan Autodesk Revit diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan persiapan dengan membuka aplikasi Autodesk Revit sesuai tahun versi aplikasi yang ingin digunakan.
2. Pemodelan struktur bawah.
3. Pemodelan struktur atas yang meliputi kolom lantai 1, balok lantai 2, dan dilanjutkan hingga jumlah tingkat yang telah akan diperhitungkan.
4. Pemodelan baja tulangan untuk masing-masing item struktur.
5. Perhitungan volume struktur berdasarkan hasil *quantity take off* hasil output pemodelan 3D Revit.

2.11 Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB), menjadi perencanaan yang patut untuk diperhitungkan dengan matang pada proyek konstruksi dan non konstruksi (Sultan, dkk. 2022). Pada proyek konstruksi, penyusunan RAB dilakukan pada tahap awal proyek hingga akhir proyek. Perancangan anggaran biaya disusun sebelum proyek dilaksanakan, dan dapat diperbaharui secara berkala selama proyek konstruksi berlangsung.

Berdasarkan output dari Autodesk Revit berupa quantity take off atau volume struktur. Perancangan RAB menggunakan prinsip menghitung volume pekerjaan kemudian dikalikan dengan analisa harga satuan bahan, upah, dan alat, serta analisa harga pekerjaan yang sesuai dengan wilayah pembangunan lokasi proyek.

2.12 Penjadwalan Proyek Dengan *Microsoft Project*

Jadwal merupakan parameter sebagai tolak ukur keberhasilan konstruksi, disamping anggaran dan mutu. Penjadwalan perlu memperhatikan durasi berdasar urutan kegiatan di dalam proyek, sehingga nantinya dapat terbentuk suatu penjadwalan yang realistis. Adapun penjadwalan proyek umumnya menggunakan estimasi durasi yang pasti. Namun, terdapat faktor proyek dalam pelaksanaannya membuat durasi menjadi hal yang tidak pasti. Hal tersebut antara lain cuaca, produktivitas pekerja proyek, dan kualitas bahan dan alat, dan lainnya.

Oleh karena itu, penjadwalan proyek diperhitungkan berdasarkan bobot pekerjaan dari hasil total harga tiap pekerjaan untuk mengawasi rencana dan realisasi pekerjaan proyek di lapangan (Banung, 2022). Dalam hal ini digunakan *software microsoft project pro* untuk membuat penjadwalan pekerjaan proyek.

2.13 Simulasi Proyek Dengan *Navisworks*

Simulasi proyek merupakan tahapan dalam *Building Information Modelling (BIM)* untuk menampilkan visualisasi proyek. Didukung oleh Maulana, dkk (2023), proses visualisasi dilakukan dengan menggabungkan output perencanaan struktur meliputi 3D *modelling*, RAB, dan penjadwalan. Pada tahap ini digunakan aplikasi *software Navisworks* untuk proses simulasi proyek.

Navisworks adalah aplikasi hasil pengembangan *Autodesk* yang dapat diintegrasikan dengan *Autodesk Revit* dan *Microsoft Project* untuk menghasilkan visualisasi pembangunan secara nyata (Maulana, dkk. 2023). Berdasarkan penjadwalan yang sudah disusun, *progress* pekerjaan proyek dari awal ditampilkan dalam simulasi proyek. Simulasi proyek memungkinkan untuk mengetahui efektifitas pekerjaan.