

Analisis Kapasitas Elemen Struktur Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019
(Studi Kasus: Bangunan Gedung Baru Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pattimura)

V. Johannes¹, F. F. Kwannandar² Leony G. Pattiwael³

^{1,2}Staf Pengajar Universitas Kristen Indonesia Maluku, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil

Gmail: vectorjohannes2020@gmail.com, fritzferlinkwanandar@gmail.com

³Mahasiswa Universitas Kristen Indonesia Maluku, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil

Gmail: leonypattiwael@gmail.com

Abstract

Indonesia is in an area of high seismic activity. The new FKIP academic building is 64m long and has no structural dilatation. The researchers aim to analyze dead and live loads, analyze seismic load using the response spectrum method in ETABS, and then analyze the capacity of the building's structural elements. The required data includes field documentation, technical drawings, and soil investigation reports. The analysis of dead and live loads follows SNI 1727:2020 and PPIUG standards, seismic loads analyzed used the response spectrum method, and internal forces are analyzed using ETABS. The upper structural elements are checked for SRPMK and inter-story deflections, the lower structure is evaluated for foundation capacity and efficiency. The results of dead and live load analysis for the stairhead is 130.42kN, the roof slab is 4,713.58kN, and the second floor is 4,996.32kN. The base shear forces from the response spectrum are $V_{t-x}=1,931.38\text{kN}$ and $V_{t-y}=1,941.27\text{kN}$. For bending and shear beam are met. The P-M interaction of the column is satisfied. Axial resistance and Shear verification is satisfied. Compliance with the SCWB concept are satisfied. The inter-floor deflections meet the requirements, the X and Y direction are less than the limits. The foundation efficiency is 98-100%.

Keywords: Structural Elements, Dead Loads and Live Loads, Seismic Loads, Response Spectrum, ETABS

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Kondisi ini membuat Indonesia termasuk dalam wilayah dengan tingkat aktivitas gempa yang sangat tinggi. Akibat dari gempa bumi, sering terjadi berbagai kerugian yang meliputi kerusakan pada bangunan gedung, terhentinya aktivitas sosial maupun ekonomi, hingga menimbulkan korban jiwa. Kerusakan akibat gempa bumi salah satu contohnya adalah gempa bumi Maluku tahun 2019 dengan magnitudo 6,5 Mw, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Maluku mencatat total rumah rusak mencapai 2.675 unit dengan salah satu contoh infrastruktur yang rusak yaitu gedung rektorat Universitas Pattimura Ambon (BMKG, 2019). Ini menunjukkan bahwa ketahanan struktur bangunan terhadap gempa masih perlu mendapatkan perhatian serius, khususnya dalam hal perancangan struktur bangunan. Untuk perencanaan struktur, setiap elemen memiliki peran yang krusial dalam menjaga stabilitas dan kekuatan bangunan. Ketahanan elemen-elemen tersebut perlu diuji sesuai dengan standar yang berlaku agar kinerja struktur dapat dipastikan memenuhi syarat keamanan. Di Indonesia, pedoman yang digunakan adalah SNI 1726:2019.

Dalam proyek pembangunan gedung baru Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas

Pattimura, khususnya bangunan gedung B yang direncanakan sebagai gedung utama perkuliahan dengan dimensi gedung $64 \times 11 \text{ m}^2$, peneliti menemukan bahwa bangunan gedung tidak memiliki dilatasi. Diketahui bahwa panjang bangunan sendiri sudah 64 meter, yang memungkinkan terjadinya pembatasan pergerakan dari bangunan gedung terutama saat terjadi gempa. Mengingat fungsi bangunan gedung tersebut sebagai pusat aktivitas akademik (kategori risiko IV), aspek keamanan struktur, terutama terhadap beban gempa, menjadi sangat krusial. Hal ini dikarenakan lokasi dari bangunan gedung sendiri termasuk dalam Kategori Desain Seismik D, yang mana bangunan harusnya di bangun sesuai metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dimana SRPMK merupakan suatu sistem rangka ruang yang komponen maupun ruasnya dapat menopang gaya yang terjadi melalui aksi lentur, geser dan aksial untuk daerah risiko gempa tinggi (Alakbar dkk, 2024).

Berdasarkan hal tersebut, peneliti memandang perlu untuk melakukan kajian terhadap kapasitas elemen struktur bangunan gedung yang mana tidak memiliki pemisah gedung, dengan menganalisis respons dan perilaku struktur apakah mampu menahan beban, sesuai dengan persyaratan dari SRPMK pada SNI 2847:2019 dan ketahanan terhadap persyaratan bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726:2019. Penelitian ini juga diharapkan dapat

memberikan evaluasi dan masukan terhadap penggunaan tanpa dilatasi pada gedung > 40m pada kawasan rawan gempa.

2. KAJIAN PUSTAKA

Bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air (Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan gedung). Fungsi dari bangunan gedung meliputi fungsi hunian, keagamaan, usaha, sosial dan budaya serta fungsi khusus adalah ketetapan mengenai pemenuhan persyaratan administratif dan persyaratan teknis bangunan gedung (Peraturan Menteri PU Nomor 29 tahun 2006 tentang pedoman persyaratan teknis bangunan gedung).

Menurut SNI 1726:2019, setiap elemen struktur bangunan harus dirancang agar mampu menahan beban gravitasi maupun beban lateral akibat gempa bumi sehingga keselamatan penghuni tetap terjaga. Dengan demikian, pemahaman terhadap fungsi dan perencanaan masing-masing elemen struktur menjadi hal yang sangat penting.

Elemen-elemen penting pada bangunan contohnya Adalah balok, kolom dan fondasi. Balok merupakan elemen horizontal yang berfungsi menyalurkan beban dari pelat ke kolom, sekaligus menahan momen lentur dan gaya geser. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural mengatur detail penulangan balok agar memiliki kekuatan dan daktilitas yang memadai, termasuk penulangan lentur, geser, serta aturan jarak tulangan transversal. Sementara itu, kolom adalah elemen vertikal yang berfungsi menyalurkan beban dari balok dan lantai ke fondasi. Kolom sering bekerja menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur, sehingga SNI mensyaratkan penguatan dengan tulangan longitudinal dan transversal (sengkang/ikat tertutup) untuk menjaga kekuatan tekan serta daktilitas terutama di wilayah rawan gempa. Dengan desain sesuai standar tersebut, interaksi balok dan kolom dapat memberikan kinerja struktur yang aman dan andal terhadap beban gempa. Selain kolom dan balok, terdapat fondasi yang merupakan struktur utama. Fondasi sendiri adalah bagian terendah dari bangunan yang berfungsi meneruskan beban dari struktur bangunan ke tanah atau batuan di bawahnya. Beban gempa yang bekerja pada fondasi biasanya merupakan hasil dari gaya gempa utama yang diteruskan dari struktur atas. Oleh karena itu, fondasi harus dirancang untuk memikul beban gempa desain berdasarkan kombinasi beban struktur yang sudah direduksi dengan faktor-faktor reduksi sesuai SNI, memperhatikan daktilitas dan faktor kuat lebih

dari fondasi itu sendiri.

2.1. Ketentuan Struktur Tahan Gempa

Pada tahap bab ini akan dijelaskan prosedur perencanaan struktur tahan gempa berdasarkan SNI 2847-2019 dan 1726-2019. Bila mengacu pada SNI 2847-2019, pasal yang menjelaskan struktur tahan gempa terletak pada SNI 2847-2019; Pasal 18; Hal-359, yang memiliki sub pasal 18.1 s/d 18.14. Secara umum pada pasal tersebut, kategori struktur tahan gempa dikelompokkan menjadi tiga, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Adapun rinciannya kategori tersebut adalah sebagai berikut (Lesmana, 2020):

SRPMB : KDS B; SNI 2847-2019; Pasal 18.3; Hal-368.

SRPMM : KDS C; SNI 2847-2019; Pasal 18.4; Hal-369.

SRPMK : KDS D,E,F; SNI 2847-2019; Pasal 18.6 s/d 18.8; Hal-376-392.

2.2. Beban Mati (Dead Load)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *klading* bangunan gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. (SNI 1727:2020). Beban mati pada bahan bangunan dan komponen bangunan gedung berdasarkan pada Tabel C3.1-2 SNI 1727:2020 Hal. 280-282.

2.3. Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

Jenis beban ini pada dasarnya sama dengan beban mati yang dijelaskan pada 2.2.1 namun dalam pemodelan, biasanya dibedakan berdasarkan peran dari beban tersebut, yang tidak dimodelkan secara langsung pada *software* misalkan beban tembok, pagar, keramik, elektikal, saluran, dll (Lesmana, 2020). Untuk berat sendiri tiap komponen beban mati tambahan diatur sesuai SNI 1727:2020 tabel Tabel C3.1-1 - Beban mati desain minimum dan PPIUG 1983 tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung. Dengan komponen yang digunakan sesuai SNI 1727:2020 dan PPIUG 1983

2.4. Beban Hidup (*Live Load*)

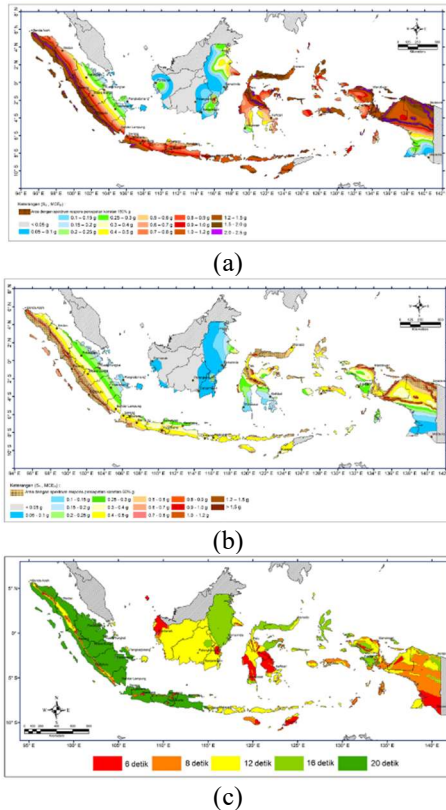
Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727:2020). Beban hidup yang digunakan dalam

perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020 Hal. 25-28.

2.5. Gedung Tahan Gempa Sesuai SNI 1726:2019.

Dengan peta terbaru tahun 2017, peta sumber dan bahaya gempa Indonesia disusun oleh Tim Pusat Gempa Nasional (PUSGEN).

1. Menentukan Nilai S_s , S_1 , dan Periode Panjang TL.



Gambar 1. (a) Parameter gerak tanah S_s , (b) Parameter gerak tanah S_1 , (c) Transisi periode panjang TL
(sumber : SNI 1726, 2019)

2. Spektrum Respons Desain.

Parameter desain respons spektra dapat dilihat dari lokasi bangunan, dengan menggunakan *website* Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia (RSA) 2021.

3. Tata Cara Perhitungan

- Menentukan kategori resiko bangunan (Tabel 3 SNI 1726-2019 Halaman 24-25).
- Menentukan faktor keutamaan gempa (I_e) (Tabel 4 SNI 1726-2019 Halaman 25).

- Klasifikasi situs tanah, percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode (S_s) percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik (S_1) (Bersumber dari aplikasi spektra Indonesia).
- Menentukan nilai faktor amplifikasi periode pendek (F_a) (Tabel 6 SNI 1726-2019 Halaman 34).
- Menentukan nilai faktor amplifikasi periode 1 detik (F_v) (Tabel 7 SNI 1726-2019 Halaman 34).
- Menghitung nilai percepatan pada periode pendek (S_{ms}) dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.2 halaman 34.
- Menghitung nilai percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.2 halaman 34.

$$S_{ms} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

S_{M1} = Percepatan pada periode 1 detik

F_v = Faktor amplifikasi periode 1 detik

S_1 = Percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik

- Menghitung nilai percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.3 halaman 34.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

S_{DS} = Percepatan Spektral desain untuk periode pendek

S_{MS} = Percepatan pada periode pendek

- Menghitung nilai percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}), sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.3 halaman 34.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

S_{D1} = Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

S_{M1} = Percepatan pada periode pendek 1 detik

- Menentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}), sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.5 halaman 37
- Menentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}), sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.5 halaman 37
- Menentukan nilai R^a , Ω_o , dan C_d sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019.

2.6. Kombinasi Pembebanan

Pengaruh beban gempa vertikal, E_v :

1. $E_v = 0,2SDS$

2. $SDS = 1,2$

3. $\Omega_0 = 3$

Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit untuk penelitian ini terdiri atas 18 macam kombinasi, sebagai berikut :

1. $1,4D$
2. $1,2D+1,6L$
3. $1,44D+L+1,3Ex+0,39Ey$
4. $1,44D+L+1,3Ex-0,39Ey$
5. $1,44D+L-1,3Ex+0,39Ey$
6. $1,44D+L-1,3Ex-0,39Ey$
7. $1,44D+L+0,39Ex+1,3Ey$
8. $1,44D+L-0,39Ex+1,3Ey$
9. $1,44D+L+0,39Ex-1,3Ey$
10. $1,44D+L-0,39Ex-1,3Ey$
11. $0,66D+1,3Ex+0,39Ey$
12. $0,66D+1,3Ex-0,39Ey$
13. $0,66D-1,3Ex+0,39Ey$
14. $0,66D-1,3Ex-0,39Ey$
15. $0,66D+0,39Ex+1,3Ey$
16. $0,66D-0,39Ex+1,3Ey$
17. $0,66D+0,39Ex-1,3Ey$
18. $0,66D-0,39Ex-1,3Ey$

Untuk metode tegangan izin digunakan kombinasi sebagai berikut :

- Akibat Gravitasi :

1. D
2. $D + L$

- Akibat Gempa Normal :

1. $1,168D + 0,273Ex + 0,91Ey$
2. $1,168D + 0,273Ex - 0,91Ey$
3. $1,168D - 0,273Ex + 0,91Ey$
4. $1,168D - 0,273Ex - 0,91Ey$
5. $1,168D + 0,91Ex + 0,273Ey$
6. $1,168D - 0,91Ex + 0,273Ey$
7. $1,168D + 0,91Ex - 0,273Ey$
8. $1,168D - 0,91Ex - 0,273Ey$
9. $1,126D + 0,2048Ex + 0,6825Ey$
10. $1,126D + 0,2048Ex - 0,6825Ey$
11. $1,126D - 0,2048Ex + 0,6825Ey$
12. $1,126D - 0,2048Ex - 0,6825Ey$
13. $1,126D + 0,6825Ex + 0,2048Ey$
14. $1,126D - 0,6825Ex + 0,2048Ey$
15. $1,126D + 0,6825Ex - 0,2048Ey$
16. $1,126D - 0,6825Ex - 0,2048Ey$
17. $0,432D + 0,2730Ex + 0,91Ey$
18. $0,432D + 0,2730Ex - 0,91Ey$
19. $0,432D - 0,2730Ex + 0,91Ey$
20. $0,432D - 0,2730Ex - 0,91Ey$
21. $0,432D + 0,91Ex + 0,2730Ey$
22. $0,432D - 0,91Ex + 0,2730Ey$
23. $0,432D + 0,91Ex - 0,2730Ey$
24. $0,432D - 0,91Ex - 0,2730Ey$

- Akibat Gempa Kuat :

1. $1,168D + 0,63Ex + 2,1Ey$
2. $1,168D + 0,63Ex - 2,1Ey$

3. $1,168D - 0,63Ex + 2,1Ey$
4. $1,168D - 0,63Ex - 2,1Ey$
5. $1,168D + 2,1Ex + 0,63Ey$
6. $1,168D - 2,1Ex + 0,63Ey$
7. $1,168D + 2,1Ex - 0,63Ey$
8. $1,168D - 2,1Ex - 0,63Ey$
9. $1,126D + 0,4725Ex + 1,5750Ey$
10. $1,126D + 0,4725Ex - 1,5750Ey$
11. $1,126D - 0,4725Ex + 1,5750Ey$
12. $1,126D - 0,4725Ex - 1,5750Ey$
13. $1,126D + 1,5750Ex + 0,4725Ey$
14. $1,126D - 1,5750Ex + 0,4725Ey$
15. $1,126D + 1,5750Ex - 0,4725Ey$
16. $1,126D - 1,5750Ex - 0,4725Ey$
17. $0,432D + 0,63Ex + 2,1Ey$
18. $0,432D + 0,63Ex - 2,1Ey$
19. $0,432D - 0,63Ex + 2,1Ey$
20. $0,432D - 0,63Ex - 2,1Ey$
21. $0,432D + 2,1Ex + 0,63Ey$
22. $0,432D - 2,1Ex + 0,63Ey$
23. $0,432D + 2,1Ex - 0,63Ey$
24. $0,432D - 2,1Ex - 0,63Ey$

2.7. Analisis Respons Spektrum

Response Spectrum (RS) merupakan metode gempa yang diperoleh dari rekaman riwayat percepatan dari model *Single Degree Of Freedom* (SDOF) yang dibebani beban gempa yang berupa *ground motion*. Rekaman riwayat yang diambil merupakan plot dari nilai maksimum (percepatan, kecepatan dan perpindahan) dari periode yang berbeda-beda sehingga membentuk sebuah kurva yang dikenal sebagai *Response Spectrum* (RS).

a. Menghitung nilai periode T_0 dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 35

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDs} \dots \dots \dots (5)$$

b. Menghitung nilai periode T_S dengan rumus sebagai berikut, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 35

$$T_S = \frac{SD1}{SDs} \dots \dots \dots (6)$$

c. Menghitung nilai S_a dengan rumus sesuai SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 35

• Untuk $T < T_0$
 $S_a = S_{Ds} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots \dots \dots (7)$

• Untuk $T \geq T_0$
 $S_a = S_{Ds} \dots \dots \dots (8)$

• Untuk $T \geq T_S$
 $S_a = \frac{SD}{T} \dots \dots \dots (9)$

2.8. ETABS

Analisis gaya-gaya dalam pada penelitian menggunakan *software* ETABS versi 18 yang merupakan perangkat lunak, dikembangkan oleh

Computers and Structures, Inc. (CSI) yang memiliki berbagai fitur canggih untuk analisis struktur.

2.9. Perilaku Struktur Atas

Perencanaan bangunan gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), menjadi hal pasti jika bangunan gedung berada pada kategori desain seismik D, E, dan F sesuai ketentuan SNI 2847:2019. Pengecekan terhadap elemen struktur atas akan di tinjau terhadap syarat SRPMK sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.

- Ketidakberaturan struktur berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.3.2. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

- Elemen Struktur.

Standar ini ditulis berdasarkan asumsi bahwa sistem rangka pemikul momen khusus terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang saling berhubungan oleh joint balok-kolom. (SNI 2847, 2019)

- a. Balok

Struktur dimodelkan sebagai bangunan rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan lentur dan geser. Syarat untuk balok terdapat pada SNI 2847:2019 pasal 18.6 - Balok sistem rangka pemikul momen khusus.

- b. Kolom

Kolom merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial (SNI 2847, 2019). Syarat untuk kolom terdapat pada SNI 2847:2019 pasal 18.7 - Kolom sistem rangka pemikul momen khusus.

- Konsep *strong column-weak beam* diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2 dengan menjamin kekakuan kolom lebih besar 20% dari kekakuan balok yang bertumpu pada kolom tersebut (Lesmana, 2020).

Dengan persamaan:

$$2 \times M_{nc} \geq 1.2 \times (M_{n-} + M_{n+}) \dots \dots \dots (10)$$

- Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus kurang dari sama dengan simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ). Defleksi pusat massa tingkat $\times$ (δx) (mm) pada Pasal 7.8.6 SNI 1726-2019 harus ditentukan sesuai dengan persamaan di bawah :

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \dots \dots \dots (11)$$

2.10. Daya Dukum Fondasi

- Kapasitas Fondasi

Perhitungan kapasitas kelompok tiang dibutuhkan mengenai (Sari dan Aini, 2022) :

1. Jumlah Tiang

$$n = \frac{P}{Q_{izin}} \dots \dots \dots (13)$$

$$S \geq 2,5D \dots \dots \dots (14)$$

$$S \leq 3D \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan : S = Jarak pusat ke pusat tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

Syarat S per-tiang dalam kelompok yang digunakan yaitu min 0.60 m dan maks 2,00 m. Berdasarkan ketentuan dibawah ini.

- a. Jika $S \geq 2,5D$, maka mungkin tanah sekitar tiang kelompok akan terjadi kenaikan berlebihan dikarenakan tiang-tiang yang saling berdekatan.

- b. b. Jika $S > 3D$, maka hal tersebut tidak ekonomis dikarenakan akan mengganti dimensi *pile cap* yang lebih besar.

2. Efisiensi kelompok tiang

Rumus efisiensi kelompok tiang menurut Converse-Labarre formula seperti pada persamaan berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn} \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan : E_g = Efisiensi kelompok tiang

M = Jumlah baris tiang

n' = Jumlah tiang dalam satu baris

θ = arc tg d/s, dalam derajat

s = Jarak antar tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi gedung baru Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pattimura, terletak di Jalan Ir. M. Putuhena, Kampus Poka, Ambon, Rumah Tiga, Kec. Teluk Ambon, Kota Ambon, Prov. Maluku, 3°39'18" lintang selatan dan 128°11'28" bujur timur



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

(Sumber : Google Earth)

3.2. Teknik Pengumpulan Data

- **Data Primer**

Data primer berupa dokumentasi, peneliti dapatkan melalui pengambilan gambar langsung di lapangan.

- **Data Sekunder**

Data sekunder berupa Gambar teknik dan data penyelidikan tanah berupa data sondir, peneliti

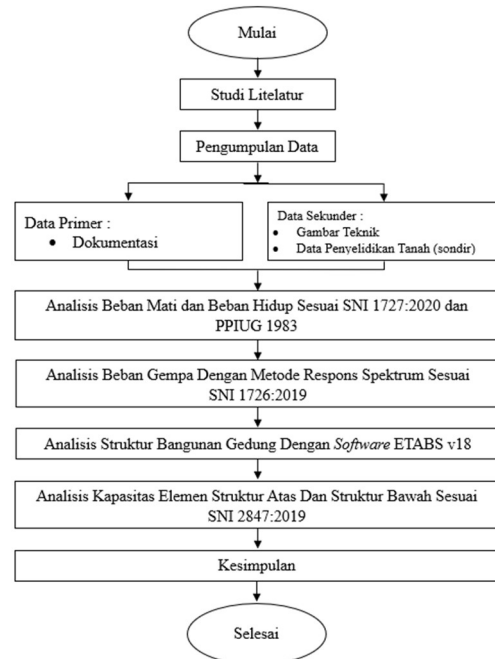
dapatkan dari kontraktor pelaksanaan dan laporan penyelidikan tanah sondir.

3.3. Teknik Analisa Data

Setelah data diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa data dengan proses analisa sebagai berikut:

- Beban mati, pada bahan bangunan dan komponen bangunan gedung berdasarkan pada Tabel C3.1-2 SNI 1727:2020 Hal. 280-282 dan PPIUG 1983 tabel 2.1.
- Beban hidup (*Live Load*) ditetapkan dalam Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020 Hal. 25-28.
- Pembebanan Gempa mengacu pada SNI 1726:2019
- Menggunakan metode analisis respons spektrum sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.4
- Untuk menghitung gaya-gaya dalam pada struktur digunakan program bantu ETABS v18. Hasil dari analisis akan digunakan dalam pengecekan struktur.
- Pengecekan elemen struktur dilakukan sesuai dengan persyaratan SRPMK pada SNI 2847:2019 pasal 18.6 untuk balok dan pasal 18.7 untuk kolom.
- Perhitungan terhadap simpangan antar lantai menggunakan persamaan (2.23) $\Delta x = \delta x_a - \delta x_b \leq \Delta a$
- Analisis Struktur Bawah (Fondasi)
Pengecekan struktur bawah meliputi kapasitas dari fondasi dan daya dukung lateral dari tiang pancang.

3.4. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Informasi Bangunan

Adapun informasi bangunan gedung B fakultas keguruan dan ilmu pendidikan Universitas Pattimura Ambon sebagai berikut :

- Lokasi : Kampus UNPATTI Poka-Ambon
- Tinggi Gedung : 10,5 meter.
- Lebar gedung : 11 meter
- Panjang gedung: 64 meter
- Jumlah lantai : 2 lantai + tonjolan tangga
- Luas Lantai : 704 m²
- Tipe pondasi : Tiang pancang
- Jenis tanah : Tanah keras
- Tipe balok :

Tabel 1. Tipe Balok

No.	Lantai	Tipe Balok	Dimensi
1.	Lantai dasar	TB1	400 x 700 mm
2.	Lantai dasar	TB2	300 x 500 mm
3.	Lantai dasar	TB3	150 x 300 mm
4.	Lantai 2, dan Dak	B1	400 x 700 mm
5.	Lantai 2, dan Dak	B2	300 x 500 mm
6.	Lantai 2, dan Dak	B3	150 x 300 mm
7.	Lantai 2, Dak, dan T. Tangga	B4	200 x 400 mm

- Tipe kolom :

Tabel 2. Tipe Kolom

No.	Lantai	Tipe Kolom	Dimensi
1.	Lantai dasar dan Lantai 2	K1	500 x 500 mm
2.	Dak	K2	300 x 300 mm
3.	Lantai dasar, Lantai 2, dan Dak	K3	150 x 300 mm
4.	Lantai 2	K4	400 x 700 mm
5.	Lantai dasar, Lantai 2, dan Dak	KP	110 x 110 mm

- Tipe fondasi :

Tabel 3. Tipe Fondasi

No.	Tipe <i>Pile Cape</i>	Jumlah Tiang Pancang	Dimensi Tiang Pancang
1.	Persegi	4	400 x 400 mm
2.	Trapesium	3	400 x 400 mm
3.	Persegi Panjang	2	400 x 400 mm

- Spesifikasi Material :
Spesifikasi yang digunakan pada struktur bangunan gedung antara lain sebagai berikut :
 - a. Mutu Baja :
BjTP digunakan 280 MPa dan BjTS digunakan 420 MPa.
 - b. Mutu Beton :
Balok, kolom, dan *pile cap* menggunakan 25 MPa. Untuk Tiang Pancang mutu 42 MPa.

4.1.1. Pengecekan dimensi

a. balok

- $\ell_n \geq 4d$
 $8000 \text{ mm} \geq 4 \times 654 \text{ mm}$
 $8000 \text{ mm} \geq 2616 \text{ mm}$... (OK)
- $bw \geq 0,3h$ atau 250 mm , dengan:
 $0,3h = 0,3 \times 700 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$
 $400 \text{ mm} \geq 210 \text{ mm}$... (OK)
- $bw \leq$ dimensi kolom
 Dimensi kolom (K1) yang menjadi penumpu balok B1 adalah $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$, maka :
 $400 \text{ mm} \leq 500 \text{ mm}$... (OK)
 Pada balok B1 memenuhi syarat, sebagaimana terdapat pada SNI 2847:2019 pasal 18.6.

b. kolom

Tabel 4. Pengecekan Kolom

No.	Tipe Kolom	Persyaratan Kolom		Keterangan
		$bw \geq 300 \text{ mm}$	$b/h \geq 0,4$	
1.	K1	✓	✓	memenuhi
2.	K2	✓	✓	memenuhi
3.	K4	✓	✓	memenuhi

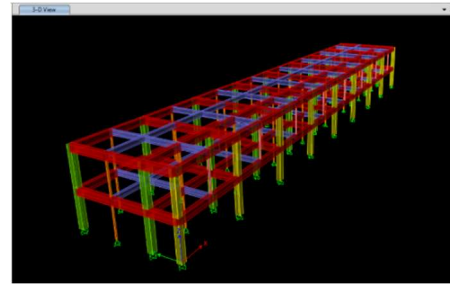
4.2. Analisis Beban Gempa Menggunakan Metode Respons Spektrum

Tabel 5. Parameter Seismik

Variabel	Nilai
PGA	0,6
Ss (g)	1,5
S ₁ (g)	0,6
F _a	1,2
F ₁	1,4
S _{MS} (g)	1,8
S _{M1} (g)	0,84
S _{DS} (g)	1,2
S _{D1} (g)	0,56
T _L (dtk)	16
T ₀ (dtk)	0,09
T _s (dtk)	0,47

Gedung termasuk dalam Kategori IV dengan faktor keutamaan gempa (I_e) 1,50. Risiko gedung ada pada kategori D

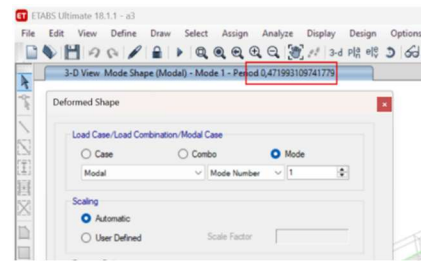
4.3. Analisis dengan ETABS



Gambar 4. Pemodelan Gedung Pada ETABS

4.3.1. Hasil Analisis

- Estimasi Periode Struktur



Gambar 5. Periode Bangunan Pada ETABS Mode-1 (Software ETABS v18)

$T = 0,47$ detik. Nilai akan dikontrol sesuai SNI 1726:2019, pasal 7.9.1.4 :

- Pendekatan 1 :
 $T_a = C_T \cdot h_n^x$; C_T , x sesuai Tabel 18 SNI 1726:2019
 $T_a = 0,0466 \cdot 10,5^{0,9}$
 $T_a = 0,387$
- Pendekatan 2 :
 $T_a = 0,1N$; dengan N adalah jumlah tingkat
 $T_a = 0,1 \times 2$
 $T_a = 0,2$

Diambil $T_a = 0,387$. Sesuai dengan nilai $S_{D1} = 0,56$ maka $C_u = 1,4$. Batas maksimal dari periode struktur yang boleh digunakan $T \leq C_u \cdot T_a = 0,47 \text{ detik} \leq 1,4 \times 0,387 = 0,54 \text{ detik}$. Sehingga periode struktur yang digunakan adalah $T = 0,47 \text{ detik}$.

- Analisis *Participating Mass Ratios*

Struktur memenuhi min 90% dari *mass* total, yang terlihat bahwa pada modal 4 arah x sudah mencapai 93,9% dan arah y mencapai 90,3%.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RK
Model 1	1	0.472	0.0874	0.0911	0	0.0874	0.0911	0	0.0912
Model 2	2	0.454	0.0023	0.0733	0	0.0097	0.0744	0	0.7765
Model 3	3	0.414	0.007	0.0233	0	0.0097	0.0096	0	0.0127
Model 4	4	0.158	0.0426	0.0036	0	0.0093	0.0033	0	0.0091
Model 5	5	0.157	0.0054	0.0405	0	0.047	0.0405	0	0.1045
Model 6	6	0.144	0.0477	0.0002	0	0.0023	0.007	0	0.0196
Model 7	7	0.142	0.0073	0.0405	0	0.0097	0.0079	0	0.0775
Model 8	8	0.127	0.0003	0.0024	0	1	1	0	0.0028
Model 9	9	0.105	0	1.4676e-08	0	1	1	0	5.6738e-08
Model 10	10	0.02	0	0	0	1	1	0	1.3605e-08
Model 11	11	0.02	0	0	0	1	1	0	0
Model 12	12	0.02	0	0	0	1	1	0	0

Gambar 6. Participating Mass Ratios (Software ETABS v18)

- Analisis Skala Gempa

$$C_s = \frac{SDS \times I_e}{R}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,5}{8} = 0,225$$

$$\text{Syarat 1 : } \frac{SDS \times I_e}{T \times R} = \frac{1,2 \times 1,5}{0,47 \times 8} = 0,478$$

$$\text{Syarat 2 : } 0,01 \leq 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

$$= 0,01 \leq 0,044 \times 1,2 \times 1,5 = 0,01 \leq 0,079$$

Maka : $C_s < T_L$ harus memenuhi:

$$(0,01 \leq 0,044 \times S_{DS} \times I_e) \leq C_s \leq \left(\frac{SDS \times I_e}{T \times R} \right)$$

$$0,079 \leq 0,225 \leq 0,478 \quad \dots \text{OK}$$

gaya geser (V) = $C_s \times W$

$$= 0,225 \times 9840,32$$

$$= 2214,072 \text{ kN}$$

- Gaya Geser Respons Spektrum (Vt)

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN
Sy	LnRespSpec	Max		40,7546	1941,2729
Ex	LnRespSpec	Max		1931,3807	40,7546

Gambar 7. Base Reaction Terhadap Beban Gempa (Software ETABS v18)

$V_{t-x} = 1.931,38 \text{ kN}$ dan $V_{t-y} = 1.941,27 \text{ kN}$, kedua arah lebih kecil dari gaya geser statik ekuivalen, maka akan dilakukan penyesuaian = $RS-X = 2107,88$ dan $RS-Y = 2097,14$.

4.4. Analisis Kapasitas Elemen Struktur Atas

4.4.1. Ketidakberaturan Struktur

Struktur akan dianalisis sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.3. klasifikasi berdasarkan kondisi Horizontal dan Vertikal struktur.

Tabel 6. Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

Tipe Ketidakberaturan	Terdapat Pada Struktur
1a Ketidakberaturan Torsi	X
1b Ketidakberaturan Torsi Berlebih	X
2 Ketidakberaturan Sudut Dalam	X
3 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	X
4 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	X
5 Ketidakberaturan Struktur Nonparalel	X

Tabel 7. Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

Tipe Ketidakberaturan	Terdapat Pada Struktur
1a Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak	X
1b Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebih	X
2 Ketidakberaturan Berat (Massa)	X
3 Ketidakberaturan Geometri Vertikal	X
4 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral	X
5a Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat	X
5b Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebih Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat	X

4.4.2. Balok

- Cek Tulangan Logitudinal dan Transversal

Tabel 8. Cek Tulangan Logitudinal Balok

Jenis Balok	Tul. Utama	Tul. Sengkang	Tinggi Efektif	b	As	ρ	Kontrol
TB1 = B1	22	10	654	400	380,29	0,001	OK
TB2 = B2	19	10	455,5	300	283,64	0,002	OK
TB3 = B3	13	10	258,5	150	132,79	0,003	OK
B4	22	10	354	200	380,29	0,005	OK

Tabel 9. Cek Tulangan Transversal Balok

Jenis Balok	Tul. Utama	Tul. Sengkang	Tinggi Efektif	≤ 150	d/4	6x Tul. Utama
TB1 = B1	22	D10-100	654	OK	OK	OK
TB2 = B2	19	D10-100	455,5	OK	OK	OK

- Kapasitas Lentur Balok

$$\phi M_n = 0,9 \times 417.643.634,58 = 375,88 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 291,82 \text{ kN.m} \leq 375,88 \quad \dots (\text{memenuhi})$$

- Kapasitas Geser Balok

$$\phi V_n = 0,75 \times (222,36 + 143,82) = 274,64 \text{ kN}$$

$$V_u = 244,71 \text{ kN} \leq 274,64 \quad \dots (\text{memenuhi})$$

4.4.3. Kolom

- Cek Tulangan Logitudinal

Tabel 10. Cek Tulangan Logitudinal Kolom

Type Balok	Dim. Tulangan	Luasan Balok (Ag)	Luasan Tul (Ast)	0,001Ag	0,06Ag	Ket.
	mm	mm2	mm2	mm2	mm2	
K1	25	491	250000	250	15000	OK
K2	22	380	90000	90	5400	OK
K3	19	284	45000	45	2700	OK
K4	13	133	22500	22,5	1350	OK
KP	13	133	12100	12,1	726	OK

- Interaksi P-M

Tabel 11. Reaksi Beban Dan Momen (spColumn)

Kondisi	P _u kN	M _{ux} kNm	M _{uy} kNm	φM _{ux} kNm	φM _{uy} kNm	φM _u /M _u	Kontrol
Pmax	-246	207	9	361,71	15,73	1,747	memenuhi
Pmin	1384	-324	-85	-406,35	-106,6	1,254	memenuhi
M2-max	-41	297	88	378,5	112,15	1,274	memenuhi
M2-min	1345	-333	-79	-416,59	-98,83	1,251	memenuhi
M3-max	310	126	283	175,22	393,55	1,391	memenuhi
M3-min	534	-77	-282	-121,66	-445,57	1,58	memenuhi

- Kapasitas aksial kolom

$$\phi P_n = 0,75 \times 1.607,43 = 4.995,57 \text{ kN}$$

$$P_u = 1384,95 \text{ kN} \leq 4.995,57 \text{ kN} \quad \dots (\text{memenuhi})$$

- Kapasitas Geser Balok
 $\phi V_n = 0,75 \times (192,95 + 99,84) = 219,59 \text{ kN}$
 $V_u = 123,88 \text{ kN} \leq 219,59 \dots (\text{memenuhi})$
- *Strong Column Weak Beam*
 $2 \times M_{nc} \geq 1.2 \times ((-)M_n + (+)M_n)$
 $= 2 \times 582,16 \geq 1.2 \times 966,17 \text{ kN.m}$
 $= 1164,33 \text{ kN.m} \geq 1159,40 \text{ kN.m} \dots (\text{memenuhi})$
- Simpangan Antar Lantai

Tabel 12. Simpangan Antar Tingkat

Story	height (mm)	Perpindahan		Perpindahan Elastik		Story Drift		Drift Limit (mm)	Cek
		δ_x	δ_y	δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
3	2500	17,059	18,403	2,323	4,591	8,518	16,834	19,231	OK
2	4000	14,736	13,812	7,378	6,809	27,053	24,966	30,769	OK
1	4000	7,358	7,003	7,358	7,003	26,979	25,678	30,769	OK

4.5. Analisis Kapasitas Elemen Struktur Bawah

- Kapasitas kelompok tiang didapatkan sebanyak 2 tiang untuk penggunaan paling max.
- Efisiensi kelompok tiang untuk segiempat = 98%, Trapesium = 98%, dan persegi = 100%

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Analisis beban mati (Dead Load), beban mati tambahan (superdead load) dan beban hidup (Live Load) didapatkan sebagai berikut :

Tabel 13. Rekapitulasi Beban Pada Tiap Lantai

Lantai	Beban (kN)
Stairhead	130,42
Atap	4713,58
Lantai 2	4996,32
Total	9840,32

- Analisis beban gempa menggunakan metode respons spektrum terhadap struktur bangunan gedung dan pemodelan bangunan dengan bantuan *software* ETABS, menunjukan :
 - Partisipasi Massa Struktur :
pada modal 4 arah x sudah mencapai 93,9% dan arah y mencapai 90,3%.
 - Gaya geser dasar respons spektrum dari kedua arah lebih kecil dengan gaya geser statik ekuivalen (V) = 246,01 kN yaitu $V_{t-x} = 1.931,38 \text{ kN}$ dan $V_{t-y} = 1.941,27 \text{ kN}$, maka penyesuaian skala pada analisis respons spektrum diperlukan menjadi $RS-X = 2107,88$ dan $RS-Y = 2097,14$
- Setelah dievaluasi kapasitas elemen struktur balok, kolom, dan fondasi pada bangunan gedung baru Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pattimura, penulis menemukan :
 - Struktur atas
 - Balok :

- Dimensi Balok B1 memenuhi standar dalam pengecekan sesuai SNI 2847:2019
- Untuk penyusunan dari tulangan longitudinal nilai ρ B1 = 0,001, B2 = 0,002, B3 = 0,004, dan B4 = 0,006 dengan $\rho_{max} = 0,025$. Maka tulangan longitudinal memenuhi persyaratan.
- Kontrol tulangan transversal untuk bangunan SRPMK memenuhi.
- Pada kontrol momen dan geser memenuhi. Dimana $M_u = 291,82 \text{ kN.m} \leq \phi M_n = 375,88$ dan $V_u = 244,71 \text{ kN} \leq \phi V_n = 274,64$.

- Kolom :

- Pada kolom, pengecekan terhadap bangunan SRPMK memenuhi.
- Interaksi aksial lentur pada kolom menunjukkan, kolom memenuhi dengan dimana $\phi M_n / M_u \leq 1$
- Dalam ketahanan kolom terhadap aksial, memenuhi dimana $P_u = 1384,95 \text{ kN} \leq \phi P_n = 4.995,57 \text{ kN}$.
- Pengecekan terhadap geser memenuhi, dimana $V_u = 123,88 \text{ kN} \leq \phi V_n = 219,59 \text{ kN}$
- Pengecekan terhadap konsep *strong column-weak beam* memenuhi.
- Pengecekan terhadap simpangan antar lantai memenuhi persyaratan, dimana *story drift* kurang dari *drift limit*.
- Fondasi :
 - Pada pengecekan fondasi, dimana pada fondasi beban maksimum yang bekerja = 1109,64 kN dibagi dengan $Q_{izin} = 971,52 \text{ kN}$ menunjukkan penggunaan sebanyak 2 tiang.
 - Karena penggunaan formasi tiang dengan jumlah 4, 3 dan 2 (leih dari 1 tiang), maka efisiensi dari fondasi segiempat = 98%, fondasi trapesium = 98%, dan fondasi persegi = 100%.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, saran dari peneliti :

- Mengingat formasi tiang yang melebihi pengecekan, disarankan agar tetap melakukan pengecekan dan perlu juga dilakukan pemantauan terhadap penurunan pada pondasi

DAFTAR PUSTAKA

Alakbar, Hastono, Zuraidah, 2024, Perbandingan Antara Metode Static Equivalent Dan Response Spectrum Pada Perencanaan Bangunan gedung Asrama Universitas Dr. Soetomo Menggunakan Sistem Rangka Pemikul

Momen Khusus (SRPMK), *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, volume 6, halaman 2.

tentang Bangunan Gedung, Jakarta

Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 : 2019
Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa
Untuk Struktur dan Nonstruktur, Badan
Standardisasi Nasional, Jakarta

Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727 : 2020
Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait
Untuk Bangunan gedung dan Struktur Lain,
Badan Standardisasi Nasional, Jakarta

Badan Standardisasi Nasional, SNI 2847 : 2019
Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan
Gedung dan Penjelasan, Badan Standardisasi
Nasional, Jakarta

BMKG, (2019), Ulasan Guncangan Tanah Akibat
Gempa bumi di Ambon Maluku 26 September
2019, Diakses Pada
<https://www.bmkg.go.id/gempabumi/ulasan-guncangan-tanah/ulasan-guncangan-tanah-akibat-gempabumi-di-ambon-maluku-26-september-2019>

Cipta Karya, (2021), Spektrum Respons Desain
(RSA), Diakses Pada
<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, (1981),
Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk
Gedung 1983, Yayasan Lembaga Penyelidikan
Masalah Bangunan, Bandung.

Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia,
(2006), Peraturan Menteri Pekerjaan Umum
Nomor 29/PRT/M/2006 Pedoman Persyaratan
Teknis Bangunan Gedung, Jakarta

Lesmana Yudha, (2020), *Handbook Prosedur Analisis Beban Gempa Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1726:2019*, Nas Media Pustaka, Makassar

Lesmana Yudha, (2020), *Handbook analisis dan desain struktur tahan gempa beton bertulang (SRPMB, SRPMM, & SRPMK) berdasarkan SNI 2847-2019 & 1726-2019*, Nas Media Pustaka, Makassar

Sari, Aini, (2022), Analisa Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Dengan Metode Meyerhof, Aoki & De Alencar Dan Program Plaxis 8.6, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.

Sekretariat Negara, (2002), Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002