

Table Of Content

Journal Cover	2
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	8

Academia Open



By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Academia Open

Vol 10 No 2 (2025): December (in progress)

DOI: 10.21070/acopen.10.2025.11433 . Article type: (Engineering)

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

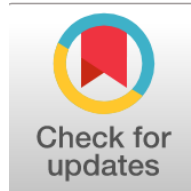
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

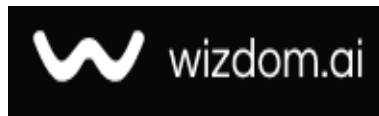
How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact ^(*)



Save this article to Mendeley



^(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Optimization of Barrel Vault Space Frame Model for Earthquake Resistant Structure

Optimasi Model Rangka Ruang Barrel Vault untuk Struktur Tahan Gempa

Oloan Johaness Siregar, oloanjohanessiregar@students.usu.ac.id, (1)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Johannes Tarigan, johannes.tarigan@usu.ac.id, (0)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Nursyamsi Nursyamsi, nursyamsi@usu.ac.id, (0)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

General Background: Long-span buildings are essential in accommodating wide, unobstructed interior spaces, commonly applied in structures such as stadiums and assembly halls. **Specific Background:** One effective structural system for such buildings is the space truss with barrel vault configurations, known for their strength and spatial efficiency. **Knowledge Gap:** However, limited comparative studies exist on the seismic performance and material efficiency of various barrel vault space truss models. **Aims:** This study aims to analyze and optimize seven barrel vault space truss models spanning 192 m by 120 m with a height of 50 m, focusing on earthquake load response and structural tonnage. **Results:** The analysis reveals that model 1 has the lowest base shear ($V = 3142.50$ kN) and structural tonnage, while model 6 exhibits the highest tonnage—62.24% heavier than model 1—and base shear of 4881.18 kN. **Novelty:** The study provides a comparative seismic performance assessment of large-span space truss models under identical geometric and loading conditions. **Implications:** These findings support the structural optimization of space trusses for earthquake-prone regions, offering practical insights for efficient and resilient long-span building design.

Highlights:

- Highlights the efficiency of barrel vault space trusses in seismic conditions.
- Compares seven models to determine the most optimal structure.
- Emphasizes material savings through structural optimization.

Keywords: Space Truss, Earthquake Load, Structural Analysis, Barrel Vault, Optimization

Academia Open

Vol 10 No 2 (2025): December (in progress)

DOI: 10.21070/acopen.10.2025.11433 . Article type: (Engineering)

Published date: 2025-07-24 00:00:00

Pendahuluan

Bangunan bentang besar adalah bangunan yang memungkinkan penggunaan ruang bebas kolom seluas dan sepanjang mungkin. Secara umum, ada dua jenis bangunan bentang besar, yaitu sederhana bentang besar dan kompleks bentang besar [1]. Pada bangunan berbentang besar, seperti stadion, workshop, gedung pertemuan dan lain – lain umumnya di pakai salah satu nya adalah struktur *space truss* dimana *space truss* tersebut menggunakan pipa (pipe) dan sambungan nya berbentuk bola, adapun type dari *space truss* yang akan di bahas ada beberapa type atau juga ada 6 type yang akan di modelkan, *type single layer*, *double layer*, *triple layer*, *spirical domes*, *type barrel vault* dan *type flat cover* (Buckminster Fuller, 1960) [2]. *Space truss* system (rangka batang ruang) merupakan susunan elemen elemen linear yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga yang secara keseluruhan membentuk volume tiga dimensi (ruang) yang membentang dua arah, di mana batang - batangnya hanya mengalami gaya tekan atau tarik saja.

Sistem tersebut merupakan salah satu perkembangan sistem struktur batang. Struktur rangka ruang merupakan susunan modul yaang diatur dan disusun berbalikan antara modul satu dengan modul lainnya sehingga gaya-gaya yang terjadi menjalar mengikuti modul-modul yang tersusun. Modul ini satu sama lain saling mengatkan, sehingga sistem struktur ini tidak mudah goyah [3]. Kelebihan Struktur *Space Truss* antara lain, ringan, karena beban akibat berat struktur sendiri kecil karena dibuat dari pipa galvanis atau aluminium, fabrikasi, elemen – elemen strukturnya merupakan produk pabrik [4]. Sehingga bentuk dan ukurannya seragam dan sangat presisi, hemat tenaga kerja, karena pekerjaan yang dibutuhkan hanya perakitan elemen struktur dan pemasangan, sehingga tidak membutuhkan terlalu banyak tenaga kerja, hemat material, karena material struktur yang dipakai hanya kolom pada masing – masing ujung nya saja, estetik, bentuk strukturnya yang unik dan memiliki nilai estetika [5]. pada perencanaan bangunan atap rangka ruang (*space truss*) dengan panjang 81 m dan lebar 63 m dengan memakai *type single layer*, keunggulan efisiensi berat dari struktur rangka ruang mencapai 30% dibandingkan struktur rangka bidang [2]. untuk perencanaan rangka ruang dengan *type barrel vault* untuk hanggar pesawat komersial ini berukuran lebar 64,4 m, panjang 70,7 m dan tinggi 19,4 m, hasil yang di peroleh selain dimensi dari yang di analisis terdapat 6 kali redesign untuk mencapai dimensi yang optimum dimana terdapat 4800 batang rangka melengkung dengan *profil circular section steel* [2] Dengan total 53883 batang, dan diperoleh *deflection max* 28 cm pada rangka bawah.

pada proses analisis yang dilakukan dengan melakukan pengujian pada rangka ruang dan rangka bidang dilakukan didapat hasil bahwa Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa, rangka ruang memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu portal bidang [6]. Selain itu semakin besar profil yang digunakan oleh rangka ruang maka semakin besar kapasitas rangka ruang. Berdasarkan data daktilitas dapat diambil kesimpulan bahwa nilai daktilitas tidak selalu meningkat seiring dengan pembesaran profil rangka ruang.

Metode

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian terhadap struktur rangka ruang (*space truss*) dimana dilakukan analisa terhadap struktur dari beberapa model dengan *type barrel vaults* yang akan di bahas, yaitu 7 model. Dari hasil ke 7 model tersebut yang telah di teliti, maka di ambil nilai yang paling optimum untuk di pakai.

1. Pengelanan Type Barrel Vaults

Barrel vaults yaitu jenis space frame yang memiliki potongan diagonal dari suatu lengkungan sederhana sehingga tidak membutuhkan modul tetrahedral atau piramid sebagai bagian pendukungnya, Barrel vaults adalah jenis struktur space truss yang dirancang untuk menciptakan atap melengkung atau penutup berbentuk silinder. Jenis ini sering digunakan untuk menciptakan ruang interior yang luas dengan bentuk yang estetik dan fungsional. Berikut adalah beberapa karakteristik dan jenis barrel vaults dalam konteks space truss.



Gambar 1. *Space Truss Type Barrel Vaults*

Barrel vaults adalah jenis struktur space truss yang dirancang untuk menciptakan atap melengkung atau penutup berbentuk silinder. Jenis ini sering digunakan untuk menciptakan ruang interior yang luas dengan bentuk yang estetik dan fungsional. Berikut adalah beberapa karakteristik dan jenis barrel vaults dalam konteks space truss [7] [8]

2. Mekanikal Properties Baja Pada *Space Truss*

Mutu baja yang dipakai harus memiliki sifat yang berkaitan dengan mekanis structural baja berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002.

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u	Tegangan leleh minimum, f_y	Peregangan minimum
	(Mpa)	(Mpa)	(%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Tabel 1. Mutu baja structural

Adapun beberapa sifat mekanis baja structural lainnya dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

- Modulus Elastisitas (E) : 200000 MPa
- Modulus Geser (G) : 80000 MPa
- Poisson Ratio (μ) : 0.3
- Koefisien Pemuaian : $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

Adapun kekuatan nominal baut yang di gunakan yang mengacu pada SNI 1729:2020, dalam melakukan design ini sangat perlu di perhitungkan untuk mencapai pada kekuatan yang di inginkan. Oleh karena itu sangat perlu mendesing mutu pada structural baja yang akan di design, mulai mutu yang terendah sampai dengan mutu tertinggi untuk mencapai pada kekuatan yang akan di akan design [9].

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} , ksi (MPa) ^[a]	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu, F_{nv} , ksi (MPa) ^[b]
Baut A307	45 (310) ^[c]	27 (186) ^{[c][d]}
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir di luar bidang geser	90 (620)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), bila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir di luar bidang geser	113 (780)	84 (579)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	150 (1.040)	90 (620)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut di luar bidang geser	150 (1.040)	113 (779)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir ada di bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir di luar bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

Tabel 2. Kekuatan Nominal Pengencangan Dan Bagian Berulir

Untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (950 mm), F_{nv} harus direduksi sampai 83,3% dari nilai pada tabel. Panjang pola pengencang merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan faying SNI 1729:2020 [10].

Ukuran Baut, mm	Kelompok A (misal, Baut A325M)	Kelompok B (misal, Baut A490M)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

Tabel 3. Sifat – sifat mekanis dari baja struktural dan praktik baut minimum

Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan ke satuan kN terdekat, seperti dispesifikasikan ASTM F3125/F3125M untuk baut Grade A325M dan baut Grade A490M dengan ulir UNC [11] [12].

3. Beban Gempa

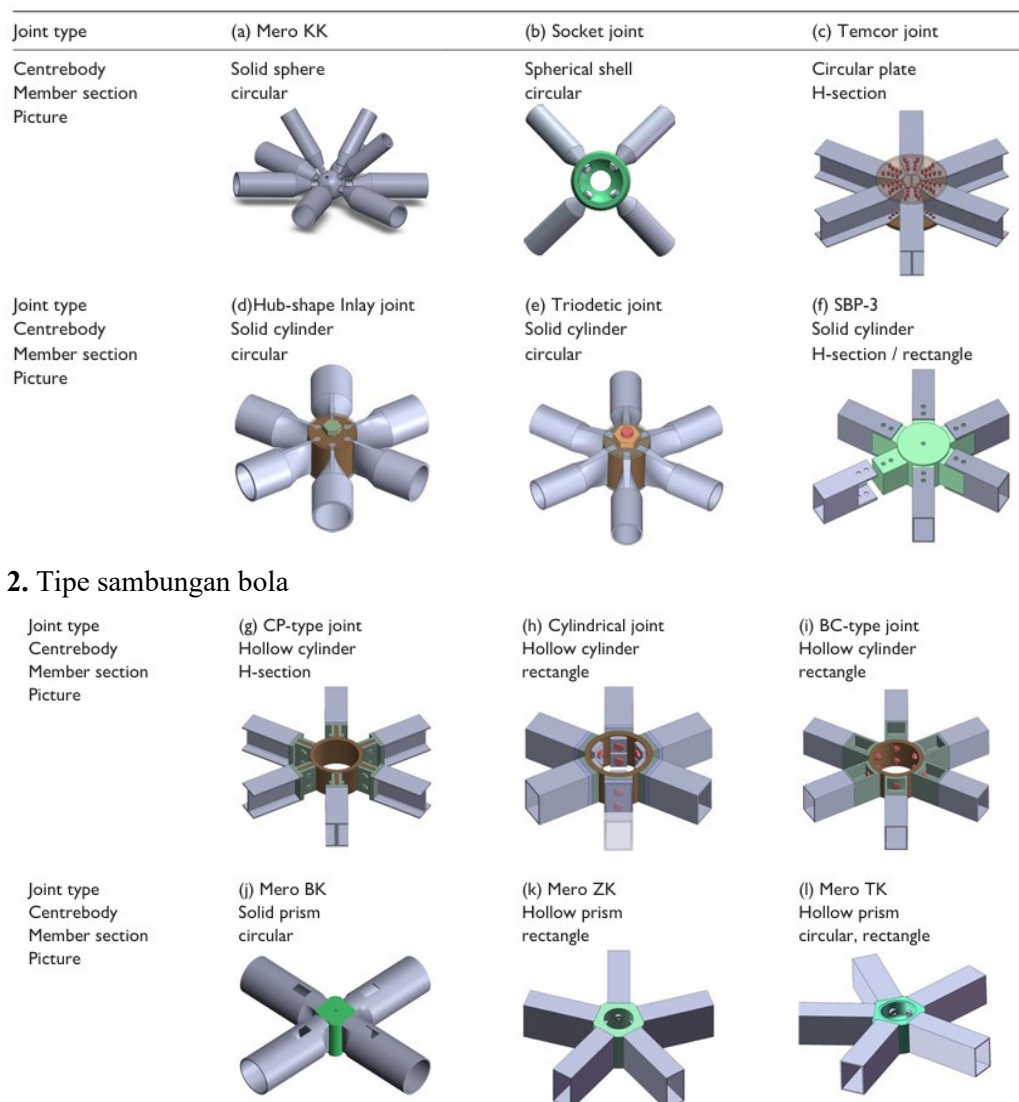
Perencanaan beban gempa harus mengikuti SNI 1726:2019 sedangkan peta gempa diambil dari puskim PU (*Spektra Indonesia*) tahun 2020, Secara umum persamaan MDOF untuk gempa seperti persamaan 1.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{\ddot{u}_b\} \quad (1)$$

Dimana gaya gempa itu adalah $\{\ddot{u}_b\}$, sedangkan $[M]$ adalah massa, $[C]$ adalah redaman $[K]$ adalah kekakuan struktur, $\{\ddot{u}\}$ adalah percepatan, $\{\dot{u}\}$ adalah kecepatan dan $\{u\}$ adalah perpindahan. Penyelesaian dari persamaan 1 [13]. dapat dilaksanakan dengan metode time history ataupun modal analisis (Respons Spektra) dalam tesis ini akan digunakan metode respons spektra berdasarkan peta gempa Indonesia tahun 2020. Penyelesaian gaya gempa dengan teori respons spektra akan mengikuti SNI 1726:2019 [14].

4. Sambungan Mero Sistem

Sambungan Mero adalah sistem penyambungan dalam konstruksi struktur rangka ruang (*space frame system*) yang dirancang untuk menciptakan struktur ringan, kuat, dan stabil [15]. Sistem ini sering digunakan untuk membuat atap besar tanpa kolom tengah, seperti stadion, hangar pesawat, aula pameran, atau pusat olahraga, dengan *type – type* nya dapat di lihat pada gambar 1.



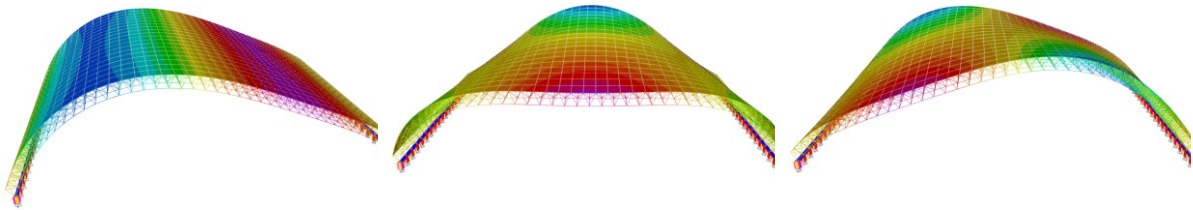
Gambar 2. Tipe sambungan bola

Gambar 3. Tipe sambungan silinder

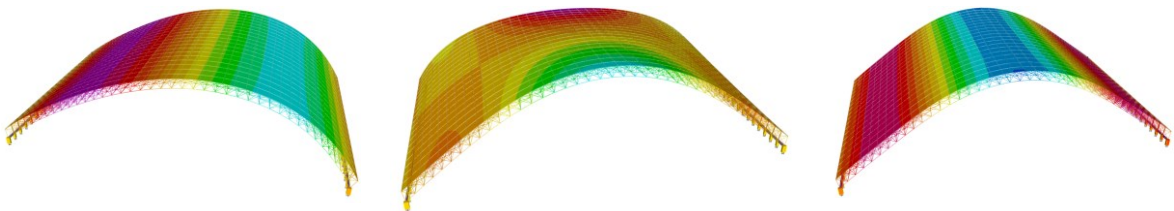
Hasil dan Pembahasan

A. Mode Dan Periode Struktur

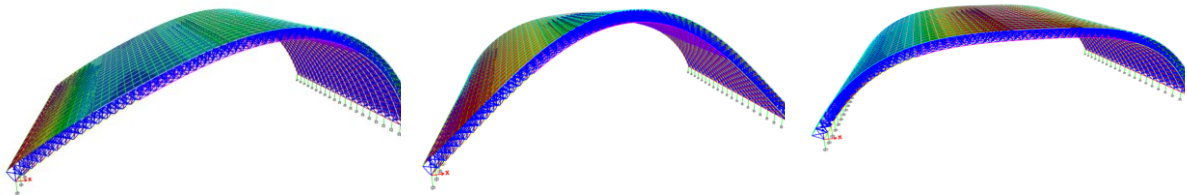
Dalam design struktur sangat perlu menentukan mode dan periode struktur, dimana tujuan mode menunjukkan bentuk deformasi atau cara struktur beresilasi pada frekuensi tertentu. Setiap mode menggambarkan pola getaran yang unik, sedangkan untuk periode struktur dibutuhkan struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran alami [16]. Periode digunakan dalam perhitungan respons spektrum, yaitu seberapa besar gaya gempa yang akan diterima oleh struktur. Analisa dapat di lihat pada gambar 3.



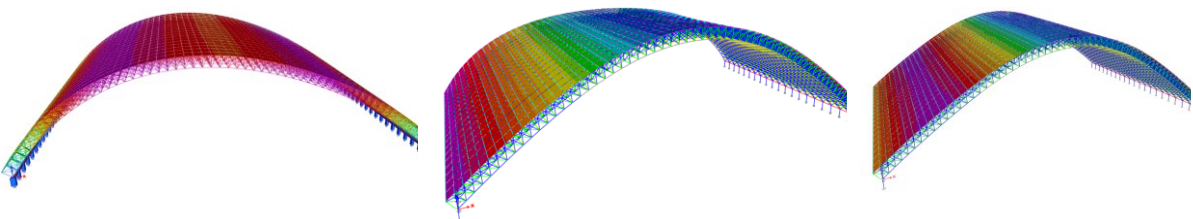
Gambar 4. Model 1 (Mode 1,2 dan 3)



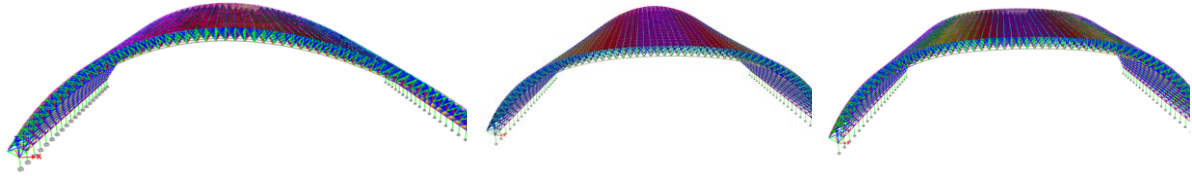
Gambar 5. Model 2 (Mode 1,2 dan 3)



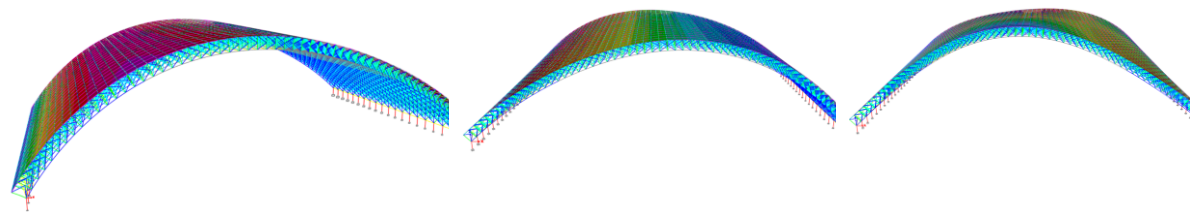
Gambar 6. Model 3 (Mode 1,2 dan 3)



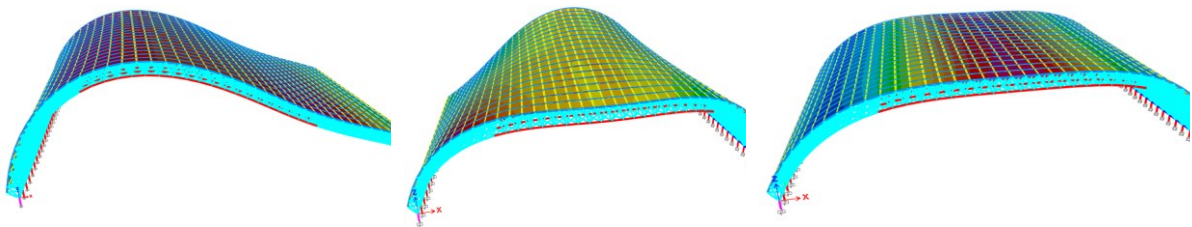
Gambar 7. Model 4 (Mode 1,2 dan 3)



Gambar 8. Model 5 (Mode 1,2 dan 3)



Gambar 9. Model 6 (Mode 1,2 dan 3)



Gambar 10. Model 7 (Mode 1,2 dan 3)

Maka diperoleh hasil dari mode dan juga periode getar alami struktur yang di analisa, seperti pada tabel 4.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	2.004	73%	0%	0%	Modal	1	2.408	76%	0%	0%	Modal	1	1.419	65%	0%	0%
Modal	2	0.968	0%	52%	0%	Modal	2	0.999	0%	49%	0%	Modal	2	0.575	0%	42%	0%
Modal	3	0.565	0%	0%	32%	Modal	3	0.627	0%	0%	0.00%	Modal	3	0.393	0%	0%	0%
Modal	4	0.543	0%	0%	0%	Modal	4	0.546	0%	0%	38%	Modal	4	0.368	0%	0%	30%
Modal	5	0.375	0%	14%	0%	Modal	5	0.363	0%	23%	0%	Modal	5	0.244	0%	18%	0%
Modal	6	0.332	0%	0%	7%	Modal	6	0.311	2%	0%	0%	Modal	6	0.208	0%	0%	0%
Modal	7	0.285	2%	0%	0%	Modal	7	0.302	0%	0%	0%	Modal	7	0.201	2%	0%	0%
Modal	8	0.271	0%	0%	0%	Modal	8	0.246	0%	0%	0%	Modal	8	0.161	0%	0%	0%
Modal	9	0.27	0%	0%	0%	Modal	9	0.243	0%	0%	0%	Modal	9	0.158	0%	0%	0%
Modal	10	0.245	0%	0%	9%	Modal	10	0.233	0%	0%	18%	Modal	10	0.152	0%	0%	13%
Modal	11	0.226	0%	7%	0%	Modal	11	0.215	0%	0%	0%	Modal	11	0.138	0%	0%	0%
Modal	12	0.212	0%	0%	0%	Modal	12	0.204	0%	0%	0%	Modal	12	0.133	0%	1%	0%
Modal	13	0.193	0%	0%	0%	Modal	13	0.199	0%	0%	0%	Modal	13	0.119	0%	8%	0%
Modal	14	0.182	0%	1%	0%	Modal	14	0.187	0%	7%	0%	Modal	14	0.119	0%	0%	0%
Modal	15	0.179	0%	0%	0%	Modal	15	0.174	0%	0%	0%	Modal	15	0.107	0%	0%	0%

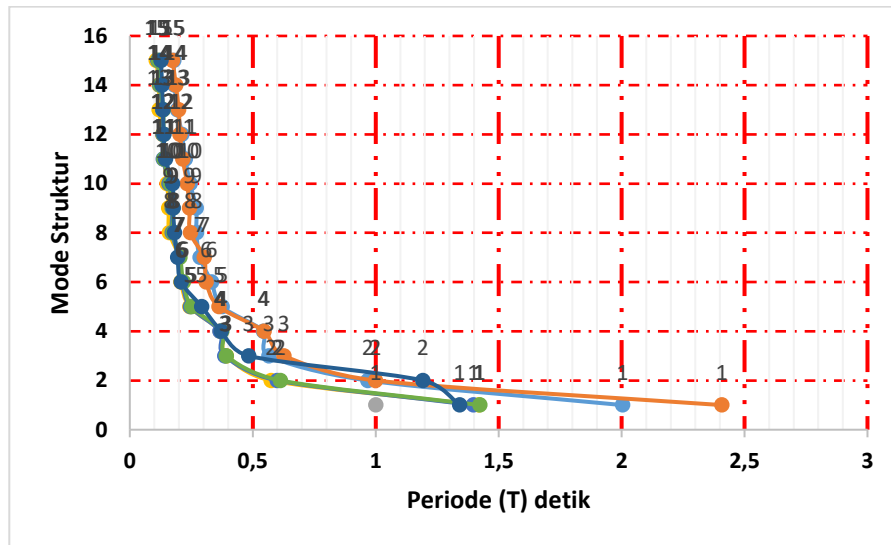
Tabel 4. Mode dan perioda struktur model 1,2 dan 3

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	1.398	64%	0%	0%	Modal	1	1.424	65%	0%	0%	Modal	1	1.341	63%	0%	0%
Modal	2	0.6	0%	43%	0%	Modal	2	0.612	0%	43%	0%	Modal	2	1.192	0%	41%	17%
Modal	3	0.386	0%	0%	0%	Modal	3	0.393	0%	0%	0%	Modal	3	0.483	0%	11%	16%
Modal	4	0.366	0%	0%	28%	Modal	4	0.374	0%	0%	28%	Modal	4	0.372	0%	0%	0%
Modal	5	0.246	0%	17%	0%	Modal	5	0.252	0%	17%	0%	Modal	5	0.292	0%	8%	3%
Modal	6	0.213	0%	0%	2%	Modal	6	0.218	0%	0%	2%	Modal	6	0.209	0%	2%	2%
Modal	7	0.2	2%	0%	0%	Modal	7	0.204	2%	0%	0%	Modal	7	0.194	2%	0%	0%
Modal	8	0.172	0%	0%	0%	Modal	8	0.176	0%	0%	0%	Modal	8	0.182	0%	1%	3%
Modal	9	0.172	0%	0%	0%	Modal	9	0.175	0%	0%	0%	Modal	9	0.176	0%	0%	0%
Modal	10	0.16	0%	0%	13%	Modal	10	0.164	0%	0%	13%	Modal	10	0.174	0%	0%	0%
Modal	11	0.136	0%	0%	0%	Modal	11	0.139	0%	0%	0%	Modal	11	0.145	0%	1%	1%
Modal	12	0.134	0%	0%	0%	Modal	12	0.137	0%	0%	0%	Modal	12	0.138	0%	0%	0%
Modal	13	0.133	0%	1%	0%	Modal	13	0.136	0%	1%	0%	Modal	13	0.135	0%	2%	2%
Modal	14	0.122	0%	7%	0%	Modal	14	0.124	0%	8%	0%	Modal	14	0.131	0%	0%	0%
Modal	15	0.114	0%	0%	0%	Modal	15	0.117	0%	0%	0%	Modal	15	0.127	0%	0%	0%

Tabel 5. Mode dan perioda struktur model 4,5 dan 6

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	1.877	74%	0%	0%
Modal	2	0.785	0%	47%	0%
Modal	3	0.518	0%	0%	0%
Modal	4	0.466	0%	0%	36%
Modal	5	0.314	0%	19%	0%
Modal	6	0.273	0%	0%	0%
Modal	7	0.271	2%	0%	0%
Modal	8	0.217	0%	0%	0%
Modal	9	0.214	0%	0%	0%
Modal	10	0.194	0%	0%	14%
Modal	11	0.186	0%	0%	0%
Modal	12	0.184	0%	2%	0%
Modal	13	0.167	0%	0%	0%
Modal	14	0.16	0%	6%	0%
Modal	15	0.15	0%	0%	0%

Tabel 6. Mode dan perioda struktur model 7



Gambar 11. Grafik perioda dan mode struktur mode 1 – 7

B. Perhitungan Gaya Gempa

Gaya gempa sangat penting di perhitungkan oleh karena itu ada beberapa parameter yang harus di penuhi, khusus nya base shear atau gaya geser dasar seismik [17].

$$\begin{aligned}
 C_{S_{use}} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,63}{\left(\frac{3}{1}\right)} \\
 &= 0,21 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{S_{max}} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,61}{1,282\left(\frac{3}{1}\right)} \\
 &= 0,159 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{S_{min}} &= 0,044 S_{DS} I_e \\
 &= 0,044 \cdot 0,63 \cdot 1 \\
 &= 0,02772 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$C_{s_{min}} \leq C_{s_{use}} \leq C_{s_{max}}$$

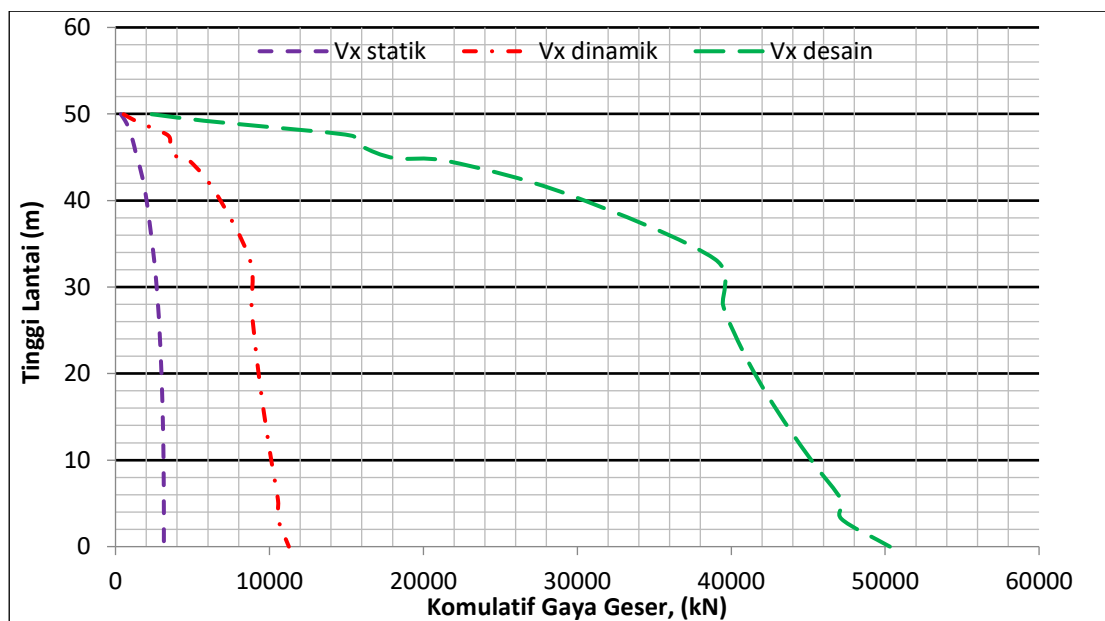
0,02772 detik < 0,21 detik > 0,159 detik, karena nilai $C_{s_{use}} > C_{s_{max}}$, maka nilai yang digunakan untuk $C_{s_{use}}$ adalah nilai dari $C_{s_{max}}$ [18]

1. Menghitung Base Shear (V)

Perhitungan *base shear* dilakukan untuk mengukur gaya gempa dasar gempa pada struktur yang akan terdistribusi terhadap struktur secara keseluruhan dan perhitungan ini dapat di lihat pada tabel 7.

Story	Tinggi Lantai (m)	$F_{x_{statik}}$ (kN)	$F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{statik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif desain (kN)	desain (kN)
Story35	49.97	351.04	133.01	351.04	133.01	594.14	594.14
Story34	49.22	275.86	525.98	626.89	658.99	2943.70	2349.56
Story33	48.47	203.06	484.87	829.95	1143.86	5109.60	2165.90
Story32	47.48	198.04	756.52	1028.00	1900.38	8488.97	3379.37
Story31	46.24	193.37	724.89	1221.37	2625.26	11727.04	3238.06
Story30	44.88	174.12	977.92	1395.49	3603.18	16095.40	4368.36
Story29	44.52	93.17	945.33	1488.66	4548.51	20318.17	4222.78
Story28	43.92	34.57	1176.64	1523.23	5725.15	25574.22	5256.05
Story27	43.04	206.57	1142.76	1729.80	6867.92	30678.94	5104.72
Story26	42.01	31.28	150.44	1761.08	7018.36	31350.97	672.03
Story25	41.09	166.28	479.79	1927.36	7498.15	33494.17	2143.20
Story24	40.71	30.10	479.79	1957.46	7977.93	35637.38	2143.20
Story23	39.17	28.73	784.59	1986.19	8762.52	39142.14	3504.76
Story22	38.90	155.63	784.59	2141.83	9547.11	42646.90	3504.76
Story21	37.40	27.17	1728.48	2169.00	11275.59	50368.00	7721.10
Story20	36.48	144.02	1728.48	2313.03	13004.07	58089.10	7721.10
Story19	35.41	25.43	2141.26	2338.46	15145.33	67654.09	9564.99
Story18	33.84	131.52	2141.26	2469.98	17286.59	77219.08	9564.99
Story17	33.19	36.47	1512.83	2506.45	18799.42	83976.89	6757.81
Story16	30.76	131.61	114.23	2638.06	18913.65	84487.18	510.29
Story15	27.91	123.62	1377.71	2761.67	20291.36	90641.39	6154.21
Story14	25.26	18.54	165.57	2780.21	20456.93	91380.99	739.60
Story13	24.63	89.59	1202.98	2869.80	21659.91	96754.68	5373.68
Story12	22.21	15.87	215.52	2885.67	21875.43	97717.42	962.74
Story11	21.15	74.45	996.86	2960.12	22872.29	102170.38	4452.96
Story10	18.96	13.07	265.71	2973.19	23138.00	103357.29	1186.91
Story9	17.48	59.18	765.55	3032.37	23903.54	106776.99	3419.71
Story8	15.52	10.26	314.53	3042.63	24218.07	108181.99	1405.00
Story7	13.62	43.77	516.34	3086.40	24734.42	110488.49	2306.50
Story6	11.90	7.46	360.07	3093.86	25094.49	112096.93	1608.44
Story5	9.58	28.60	259.34	3122.46	25353.83	113255.39	1158.46
Story4	8.10	4.69	400.27	3127.15	25754.10	115043.41	1788.03
Story3	5.37	11.06	1.03	3138.21	25755.13	115048.01	4.60
Story2	4.13	2.08	1.03	3140.29	25756.16	115052.61	4.60
Story1	3.20	2.21	703.49	3142.50	26459.65	118195.11	3142.50

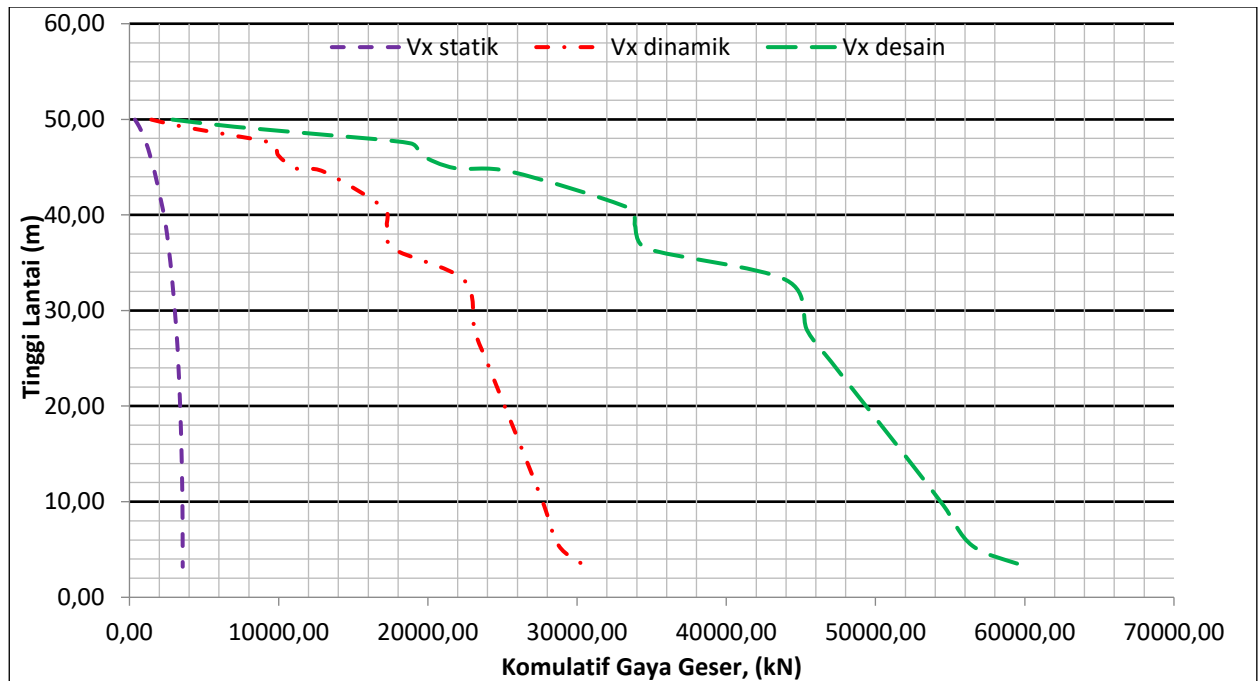
Tabel 7. *Base shear* model 1



Gambar 12. Grafik *base shear* model 1

Story	Tinggi Lantai (m)	$F_{x_{statik}}$ (kN)	$F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{statik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif desain (kN)	desain (kN)
Story35	49.97	368.04	1465.75	368.04	1465.75	2877.66	2877.66
Story34	49.22	289.20	2115.51	657.24	3581.26	7030.99	4153.32
Story33	48.47	212.90	2737.69	870.14	6318.94	12405.81	5374.82
Story32	47.48	256.55	3280.12	1126.69	9599.07	18845.59	6439.78
Story31	46.24	247.97	364.56	1374.66	9963.63	19561.32	715.73
Story30	44.88	198.94	1160.08	1573.60	11123.71	21838.88	2277.56
Story29	44.52	106.41	1899.62	1680.01	13023.32	25568.35	3729.47
Story24	40.71	47.07	4037.92	2220.56	17061.25	33495.90	7927.55
Story22	38.90	170.78	192.71	2433.35	17253.96	33874.24	378.35
Story20	36.48	160.57	400.65	2632.52	17654.61	34660.83	786.59
Story17	33.19	44.77	4756.10	2861.90	22410.71	43998.36	9337.53
Story15	27.91	136.89	724.50	3145.75	23135.22	45420.75	1422.40
Story13	24.63	99.54	820.18	3266.64	23955.39	47030.99	1610.24
Story11	21.15	82.84	890.85	3367.98	24846.25	48779.98	1748.99
Story9	17.48	65.81	948.20	3449.04	25794.45	50641.55	1861.58
Story7	13.62	48.69	988.13	3509.69	26782.58	52581.53	1939.98
Story5	9.58	31.85	1010.61	3550.18	27793.19	54565.63	1984.10
Story3	5.37	8.85	991.04	3564.44	28784.22	56511.30	1945.67
Story1	3.20	0.00	1816.77	3566.82	30601.00	60078.13	3566.82

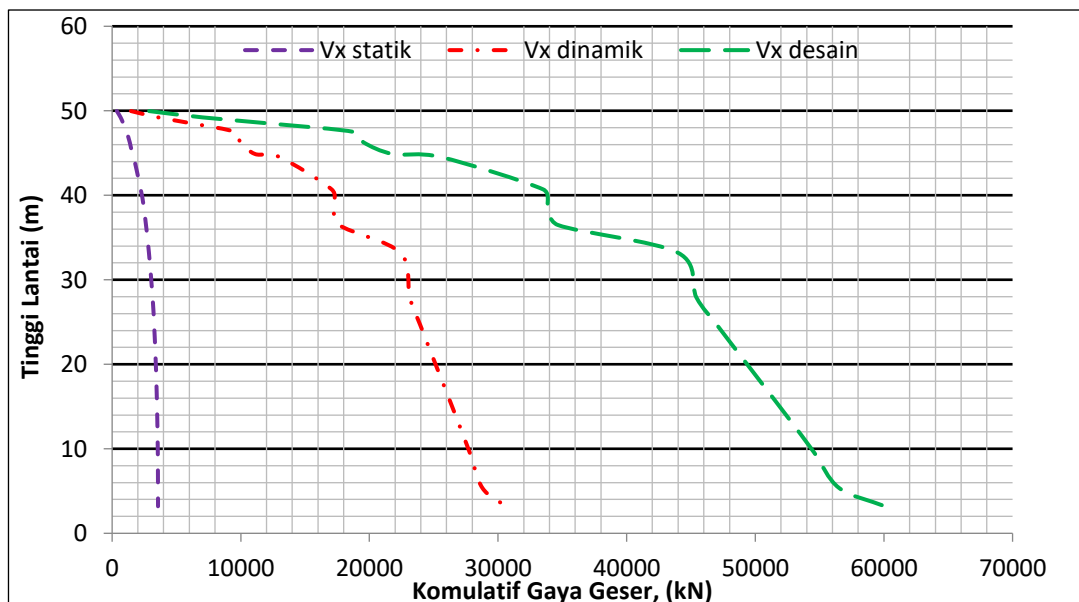
Tabel 8. Base shear model 2



Gambar 13. Grafik base shear model 2

Story	Tinggi Lantai (m)	$F_{x_{statik}}$ (kN)	$F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{statik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif desain (kN)	desain (kN)
Story52	50	316.487503	1673.4572	316.49	1673.4572	2837.807081	2837.807
Story51	49.5011	244.6592964	2145.4295	561.15	3818.8867	6475.973044	3638.166
Story50	49.1136	158.000931	2722.0954	719.15	6540.9821	11092.03469	4616.062
Story49	48.6159	156.0675531	3270.1344	875.22	9811.1165	16637.44724	5545.413
Story48	48.0084	155.564088	3790.7668	1030.78	13601.8833	23065.73526	6428.288
Story47	47.2917	175.4126848	4263.3413	1206.19	17865.2246	30295.40335	7229.668
Story46	46.4664	164.256303	4699.1135	1370.45	22564.3381	38264.0431	7968.64
Story45	45.5332	171.8749424	1036.6987	1542.32	23601.0368	40022.05097	1758.008
Story43	44.4929	196.784525	463.7742	1851.78	24064.811	40808.50771	786.4567
Story42	44.1477	53.7911227	3210.2108	1905.57	27275.0218	46252.30331	5443.796
Story39	43.0851	39.5363836	4457.8315	2149.16	31732.8533	53811.78305	7559.48
Story37	42.0947	148.430951	708.723	2340.17	32441.5763	55013.61788	1201.835
Story36	41.6024	51.39193184	5550.4784	2391.56	37992.0547	64425.98104	9412.363
Story35	40.7052	171.8750843	6085.0909	2563.44	44077.1456	74744.92678	10318.95
Story33	39.2798	140.9604483	878.4207	2741.23	44955.5663	76234.53075	1489.604
Story29	36.058	152.6392205	970.4166	3096.62	45925.9829	77880.13907	1645.608
Story27	34.3116	115.0804658	978.2264	3244.82	46904.2093	79538.99106	1658.852
Story25	32.4402	112.6436803	827.6776	3386.19	47731.8869	80942.54614	1403.555
Story20	28.1161	28.25239951	6959.0562	3660.68	54690.9431	92743.54049	11800.99
Story18	24.0673	93.48003702	405.2134	3859.08	55096.1565	93430.69129	687.1508
Story16	21.7475	66.75668274	316.822	3944.36	55412.9785	93967.95016	537.2589
Story14	19.3409	58.82258705	215.2096	4018.84	55628.1881	94332.89724	364.9471
Story12	16.8495	50.71546387	116.1725	4082.38	55744.3606	94529.89968	197.0024
Story10	14.2756	42.03407275	488.4573	4134.67	56232.8179	95358.21341	828.3137
Story8	11.6212	32.1494708	522.8114	4175.24	56755.6293	96244.78398	886.5706
Story6	8.8887	22.92958127	560.9505	4205.11	57316.5798	97196.02988	951.2459
Story4	6.0803	14.33765488	585.135	4224.65	57901.7148	98188.28725	992.2574
Story2	3.1986	3.896224127	483.1341	4231.89	58384.8489	99007.57403	819.2868
Story1	2.7708	1.543165871	1825.7724	4233.43	60210.6213	102103.6734	3096.099
Base	0	0	2496.4563	4233.43	62707.0776	106337.1019	4233.428

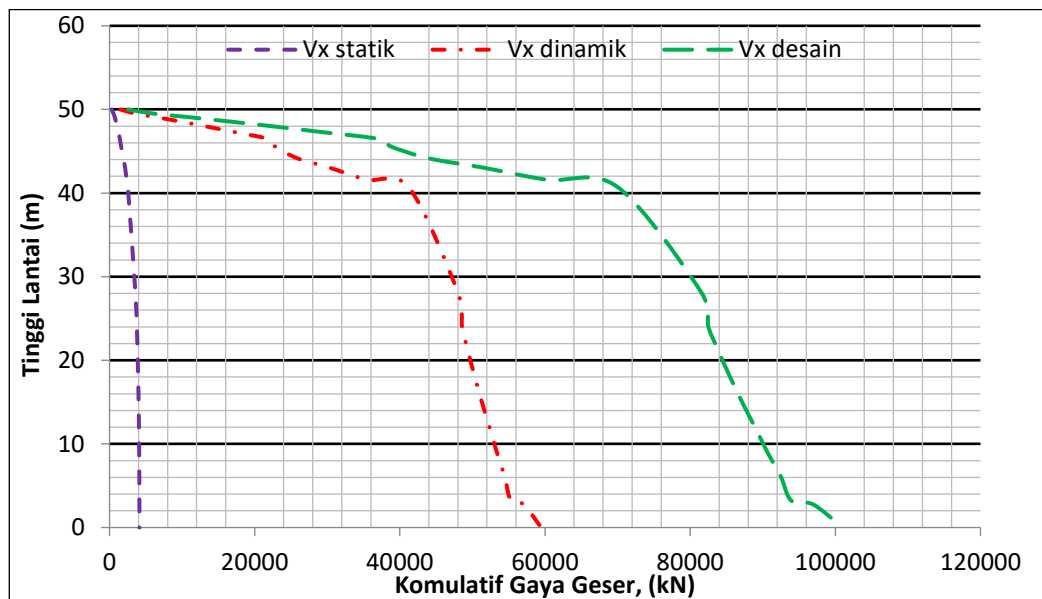
Tabel 9. Base shear model 3



Gambar 14. Grafik base shear model 3

Story	Tinggi Lantai (m)	$F_{x_{statik}}$ (kN)	$F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{statik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif desain (kN)	desain (kN)
Story52	50.00	307.01	1493.60	307.01	1493.60	2537.33	2537.33
Story51	49.50	244.62	2056.53	551.63	3550.13	6030.96	3493.63
Story50	49.11	155.75	2632.93	707.39	6183.07	10503.79	4472.83
Story49	48.62	153.85	3184.94	861.23	9368.01	15914.36	5410.58
Story48	48.01	159.53	3702.52	1020.76	13070.53	22204.20	6289.84
Story47	47.29	212.82	4160.36	1233.58	17230.88	29271.81	7067.61
Story46	46.47	188.78	4581.32	1422.37	21812.20	37054.55	7782.74
Story45	45.53	182.00	1057.13	1604.37	22869.33	38850.40	1795.86
Story42	44.15	35.06	3035.55	1909.20	25904.88	44007.19	5156.78
Story39	43.09	37.80	4237.41	2132.84	30142.29	51205.71	7198.52
Story36	41.60	52.62	5288.64	2358.60	35430.94	60190.05	8984.34
Story35	40.71	162.21	5790.35	2520.81	41221.28	70026.69	9836.64
Story20	28.12	29.70	6777.00	3564.63	47998.29	81539.46	11512.77
Story18	24.07	89.99	558.45	3755.88	48556.74	82488.15	948.70
Story16	21.75	89.99	639.42	3837.86	49196.15	83574.39	1086.24
Story14	19.34	54.46	714.64	3909.33	49910.79	84788.42	1214.03
Story12	16.85	46.13	786.23	3970.18	50697.03	86124.07	1335.65
Story10	14.28	37.79	852.56	4020.38	51549.59	87572.40	1448.33
Story8	11.62	29.51	925.78	4059.99	52475.36	89145.11	1572.71
Story6	8.89	20.81	925.49	4088.61	53400.86	90717.34	1572.23
Story4	6.08	13.55	1047.23	4107.60	54448.09	92496.37	1779.03
Story2	3.20	3.68	855.49	4114.71	55303.58	93949.68	1453.31
Story1	2.77	1.48	1750.13	4116.19	57053.71	96922.79	2973.12
Base	0.00	1.48	2423.00	4116.19	59476.71	101038.99	4116.19

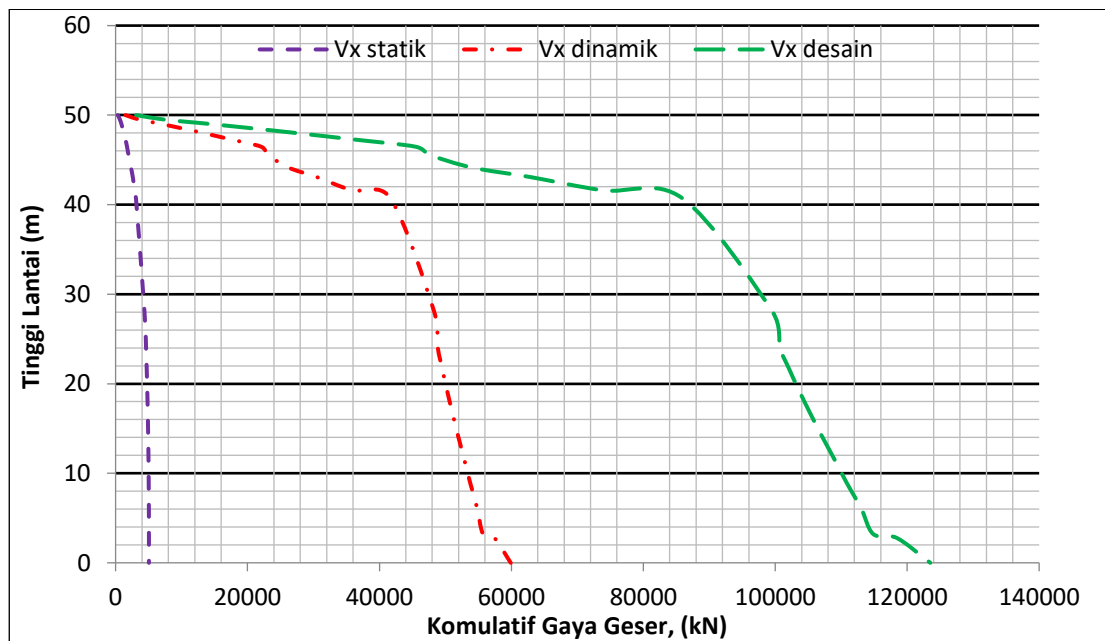
Tabel 10. Base shear model 4



Gambar 15. Grafik base shear model 4

Story	Tinggi Lantai (m)	$F_{x_{statik}}$ (kN)	$F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{statik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif desain (kN)	desain (kN)
Story52	50.00	366.69	1511.15	366.69	1511.15	3115.72	3115.72
Story51	49.50	291.13	2082.59	657.83	3593.74	7409.63	4293.91
Story50	49.11	185.37	2666.95	843.19	6260.69	12908.39	5498.76
Story49	48.62	183.10	3227.01	1026.29	9487.70	19561.89	6653.50
Story48	48.01	192.68	3751.48	1218.97	13239.18	27296.74	7734.86
Story47	47.29	276.12	4209.56	1495.09	17448.74	35976.07	8679.33
Story46	46.47	240.05	4631.63	1735.15	22080.37	45525.63	9549.56
Story45	45.53	225.93	1065.94	1961.08	23146.31	47723.41	2197.78
Story42	44.15	43.52	3062.94	2335.09	26209.25	54038.62	6315.21
Story39	43.09	47.57	4279.39	2611.48	30488.64	62861.92	8823.30
Story36	41.60	69.29	5343.39	2891.35	35832.03	73879.01	11017.09
Story35	40.71	198.39	5848.36	3089.74	41680.39	85937.25	12058.24
Story20	28.12	38.14	6586.76	4378.70	48267.15	99517.93	13580.67
Story18	24.07	110.58	570.71	4613.89	48837.86	100694.63	1176.71
Story16	21.75	110.58	652.62	4714.77	49490.48	102040.21	1345.58
Story14	19.34	66.16	728.33	4802.78	50218.81	103541.88	1501.67
Story12	16.85	56.04	800.31	4877.73	51019.12	105191.98	1650.09
Story10	14.28	45.91	867.00	4939.59	51886.12	106979.57	1787.60
Story8	11.62	35.85	940.27	4988.42	52826.39	108918.24	1938.67
Story6	8.89	25.28	941.33	5023.75	53767.73	110859.09	1940.86
Story4	6.08	16.46	1052.67	5047.21	54820.40	113029.51	2170.42
Story2	3.20	4.49	892.84	5056.12	55713.24	114870.38	1840.86
Story1	2.77	1.91	1731.67	5058.02	57444.91	118440.76	3570.39
Base	0.00	0.00	2453.19	5058.02	59898.10	123498.79	5058.02

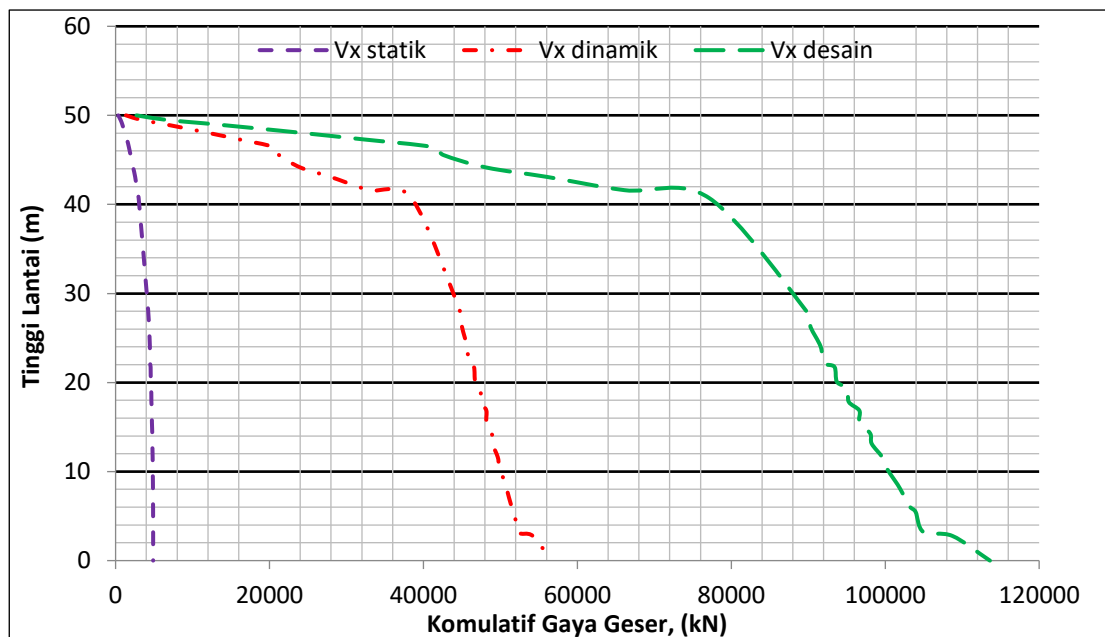
Tabel 11. *Base shear* model 5



Gambar 16. Grafik *base shear* model 5

Story	Tinggi Lantai (m)	$F_{x_{statik}}$ (kN)	$F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{statik}}$ (kN)	Cumulatif $F_{x_{dinamik}}$ (kN)	Cumulatif desain (kN)	desain (kN)
Story52	50.00	359.01	1354.08	359.01	1354.08	2716.24	2716.24
Story51	49.50	283.78	1897.55	642.79	3251.64	6522.67	3806.43
Story50	49.11	180.68	2455.13	823.47	5706.76	11447.57	4924.90
Story49	48.62	178.47	2989.76	1001.94	8696.52	17444.91	5997.35
Story48	48.01	190.70	3490.48	1192.64	12187.00	24446.70	7001.79
Story47	47.29	286.53	3922.24	1479.17	16109.25	32314.58	7867.88
Story46	46.47	241.36	4324.16	1720.54	20433.40	40988.70	8674.11
Story45	45.53	224.78	819.17	1945.32	21252.57	42631.91	1643.22
Story42	44.15	41.55	2756.24	2287.21	24008.81	48160.84	5528.93
Story39	43.09	45.97	3946.99	2546.43	27955.81	56078.37	7917.53
Story36	41.60	58.15	4996.28	2809.06	32952.09	66100.73	10022.36
Story35	40.71	189.33	5505.53	2998.39	38457.62	77144.64	11043.91
Story20	28.12	32.51	6242.87	4229.26	44700.49	89667.62	12522.98
Story19	26.24	119.56	311.59	4348.81	45012.08	90292.66	625.04
Story18	24.07	106.35	648.99	4455.16	45661.07	91594.51	1301.85
Story17	22.21	22.59	236.33	4477.74	45897.40	92068.58	474.07
Story16	21.75	74.37	668.58	4552.11	46565.98	93409.73	1341.14
Story15	20.07	19.68	160.07	4571.79	46726.05	93730.82	321.10
Story14	19.34	64.83	682.82	4636.62	47408.87	95100.53	1369.70
Story13	17.84	16.92	79.10	4653.54	47487.96	95259.20	158.67
Story12	16.85	55.02	689.34	4708.56	48177.31	96642.00	1382.80
Story11	15.52	14.21	13.48	4722.77	48190.79	96669.03	27.04
Story10	14.28	45.12	689.60	4767.89	48880.39	98052.35	1383.32
Story9	13.13	11.54	96.48	4779.43	48976.87	98245.89	193.54
Story8	11.62	35.26	681.66	4814.69	49658.53	99613.28	1367.39
Story7	10.65	8.90	184.75	4823.60	49843.28	99983.87	370.60
Story6	8.89	25.56	672.31	4849.16	50515.59	101332.51	1348.64
Story5	8.10	6.34	291.62	4855.50	50807.21	101917.50	584.99
Story4	6.08	16.02	635.09	4871.52	51442.31	103191.47	1273.97
Story3	5.47	3.90	376.97	4875.42	51819.28	103947.67	756.20
Story2	3.20	4.34	514.24	4879.76	52333.52	104979.21	1031.54
Story1	2.77	1.43	1867.59	4881.18	54201.11	108725.53	3746.33
Base	0.00	0.00	2433.33	4881.18	56634.45	113606.72	4881.18

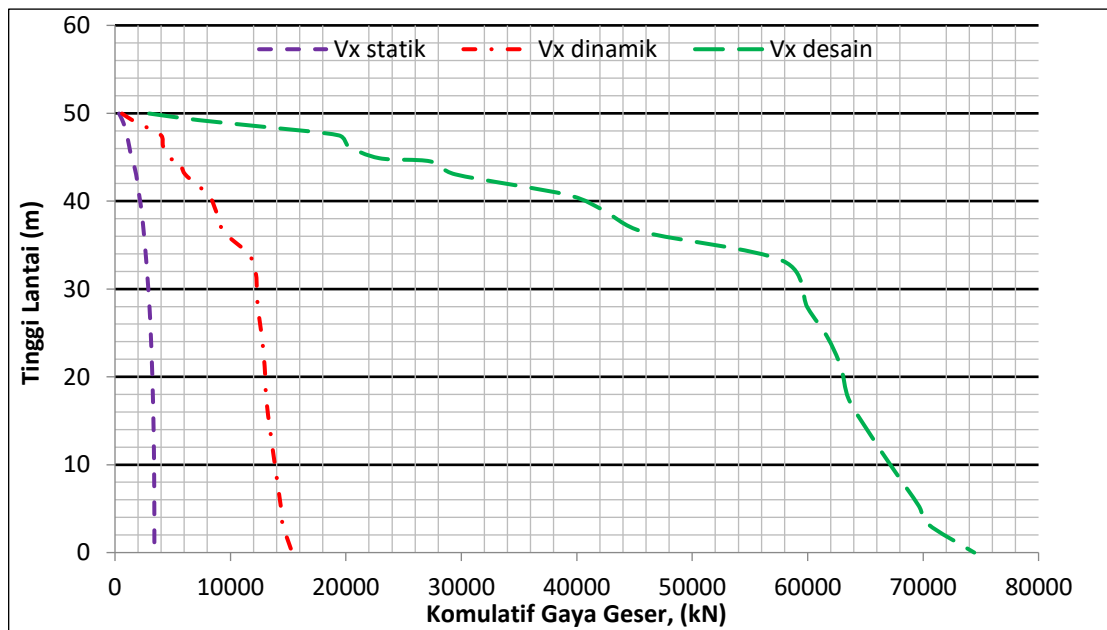
Tabel 12. Base shear model 6



Gambar 17. Grafik base shear model 6

Story	Tinggi Lantai (m)	F _{xstatik} (kN)	F _{xdinamik} (kN)	Cumulatif F _{xstatik} (kN)	Cumulatif F _{xdinamik} (kN)	Cumulatif desain (kN)	desain (kN)
Story35	49.969	354.035	610.145	354.035	610.145	2958.809	2958.809
Story34	49.221	278.213	879.496	632.248	1489.641	7223.795	4264.986
Story33	48.474	204.799	1137.426	837.047	2627.067	12739.571	5515.777
Story32	47.481	199.737	1369.940	1036.784	3997.007	19382.892	6643.320
Story31	46.243	195.904	173.060	1232.688	4170.067	20222.119	839.228
Story30	44.880	203.892	554.426	1436.580	4724.493	22910.726	2688.607
Story29	44.520	113.206	907.271	1549.786	5631.764	27310.402	4399.676
Story27	43.043	226.334	448.381	1830.584	6080.144	29484.757	2174.356
Story24	40.705	43.308	2005.067	2095.205	8085.212	39208.033	9723.276
Story22	38.899	161.778	656.548	2298.320	8741.760	42391.866	3183.833
Story20	36.483	161.778	703.102	2488.972	9444.862	45801.456	3409.591
Story17	33.192	46.896	2487.069	2709.018	11931.931	57862.128	12060.671
Story15	27.912	135.236	435.594	2989.953	12367.525	59974.477	2112.349
Story13	24.634	93.320	347.791	3109.059	12715.316	61661.036	1686.559
Story11	21.154	77.986	249.571	3208.731	12964.886	62871.291	1210.256
Story9	17.480	62.414	139.960	3288.643	13104.846	63550.007	678.716
Story7	13.620	46.332	367.328	3348.470	13472.174	65331.309	1781.301
Story5	9.579	30.077	422.120	3388.376	13894.294	67378.317	2047.008
Story3	5.367	11.697	458.162	3406.360	14352.457	69600.107	2221.791
Story1	3.199	2.490	178.588	3411.487	14531.044	70466.142	866.035
Base	0.000	2.490	817.264	3411.487	15348.309	74429.344	3963.202

Tabel 13. Base shear model 7



Gambar 18. Grafik base shear model 7

C. Perhitungan Displacement Dan Deformasi

Displacement yang akan di hitung dalam tesis ini adalah horizontal akibat gaya lateral gempa dan vertikal yang di akibatkan oleh adanya gaya gravitasi. Dimana perhitungan di ambil sempel sebagai berikut: [19]

$$\begin{aligned}
 \Delta x_{story\ 2} &= \frac{(\delta_{atas} - \delta_{bawah}) \times C_d}{I_e} \leq \Delta_a \\
 &= \frac{(14,712 - 10,928) \times 3}{1} \leq \Delta_a \\
 &= 11,352\text{ mm} \leq \Delta_a
 \end{aligned}$$

$$\Delta_a = 0,02h_x$$

$$= 0,02 \cdot 931,38$$

$$= 18,628 \text{ mm}$$

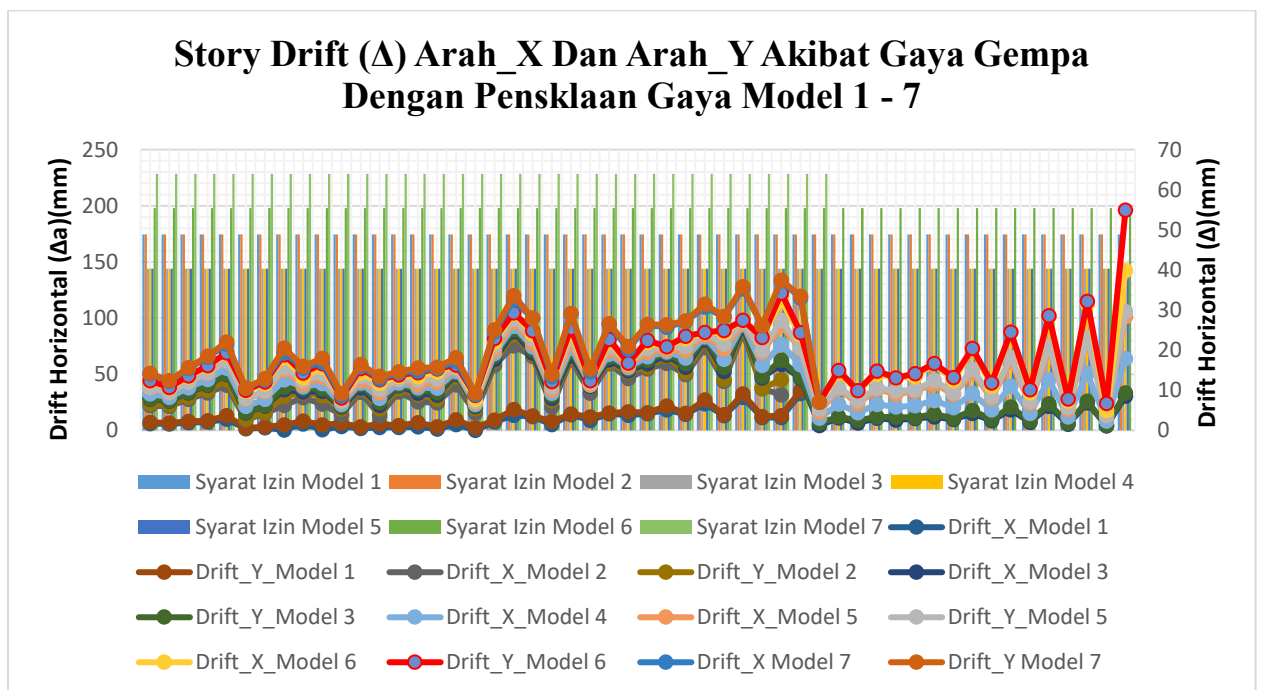
Syarat :

$$\Delta x_{story 2} \leq \Delta_a$$

11,352 mm < 18,628 mm ...Oke

Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)	Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)
Story35	50	72.452	12.182	Story17	33.1919	86.203	8.211
Story34	49.221	73.801	11.89	Story16	30.7603	83.751	7.581
Story33	48.474	75.697	11.624	Story15	27.9123	79.273	5.912
Story32	47.481	77.992	11.289	Story14	25.2644	75.133	6.08
Story31	46.243	83.694	11.902	Story13	24.6335	73.394	5.12
Story30	44.88	83.862	11.894	Story12	22.2107	68.745	5.323
Story29	44.52	84.382	11.712	Story11	21.154	65.776	4.312
Story28	43.922	86.171	11.467	Story10	18.9608	60.852	4.55
Story27	43.043	85.24	9.934	Story9	17.4803	56.398	3.496
Story26	42.012	87.186	10.794	Story8	15.521	51.433	3.762
Story25	41.088	86.944	9.391	Story7	13.6195	45.302	2.682
Story24	40.705	88.086	10.364	Story6	11.8979	40.529	2.979
Story23	39.167	88.666	9.887	Story5	9.579	32.6	1.881
Story22	38.899	87.826	8.796	Story4	8.0985	28.235	2.204
Story21	37.399	88.697	9.377	Story3	5.3667	18.481	1.101
Story20	36.483	87.599	8.148	Story2	4.13	14.712	1.45
Story19	35.406	87.953	8.817	Story1	3.1986	10.928	0.852
Story18	33.843	86.226	7.439	Base	0	0	0

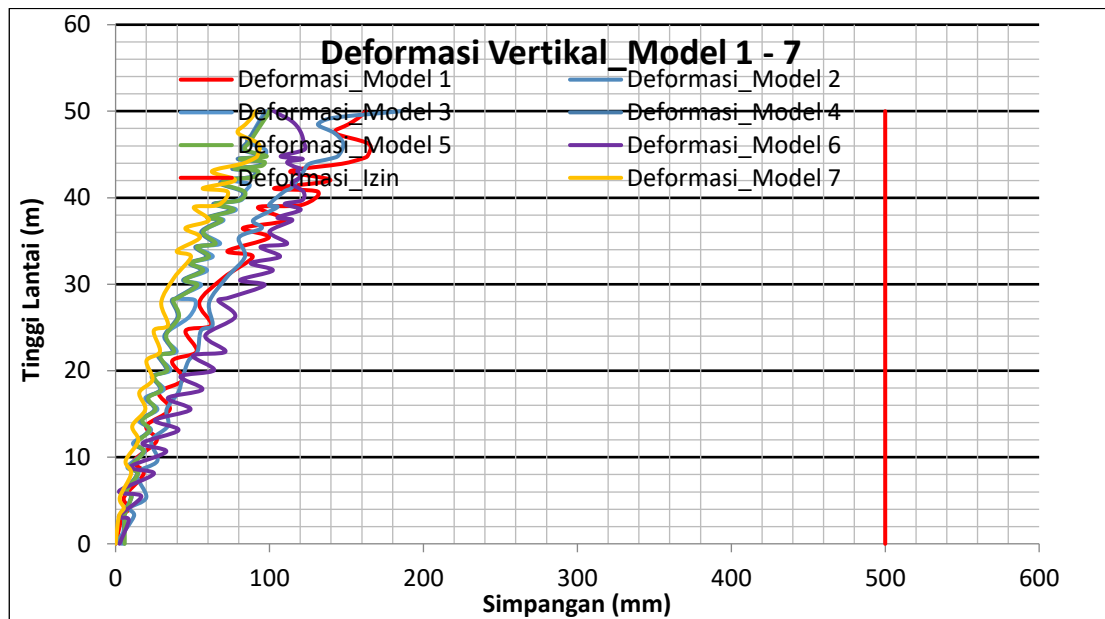
Tabel 14. Displacement Horizontal



Gambar 19. Grafik displacement horizontal Model 1 – 7

Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} = L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Δ_{actual})	$\Delta_{izin} > \Delta_{actual}$	Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} =$ $L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Δ_{actual})	$\Delta_{izin} >$ Δ_{actual}
Story35	50	500	162.517	Oke	Story17	33.1919	500	89.134	Oke
Story34	49.2209	500	157.742	Oke	Story16	30.7603	500	70.162	Oke
Story33	48.4743	500	151.109	Oke	Story15	27.9123	500	54.399	Oke
Story32	47.4811	500	142.624	Oke	Story14	25.2644	500	62.06	Oke
Story31	46.2433	500	164.343	Oke	Story13	24.6335	500	45.53	Oke
Story30	44.8801	500	163.878	Oke	Story12	22.2107	500	52.666	Oke
Story29	44.5204	500	160.155	Oke	Story11	21.154	500	36.815	Oke
Story28	43.9217	500	146.925	Oke	Story10	18.9608	500	43.812	Oke
Story27	43.0434	500	113.471	Oke	Story9	17.4803	500	28.27	Oke
Story26	42.0123	500	139.481	Oke	Story8	15.521	500	35.199	Oke
Story25	41.0875	500	103.002	Oke	Story7	13.6195	500	19.944	Oke
Story24	40.7052	500	131.343	Oke	Story6	11.8979	500	26.699	Oke
Story23	39.1665	500	120.929	Oke	Story5	9.579	500	12.061	Oke
Story22	38.8992	500	92.57	Oke	Story4	8.0985	500	18.211	Oke
Story21	37.399	500	110.084	Oke	Story3	5.3667	500	5.463	Oke
Story20	36.4826	500	82.722	Oke	Story2	4.13	500	9.517	Oke
Story19	35.4062	500	99.638	Oke	Story1	3.1986	500	4.528	Oke
Story18	33.8425	500	72.706	Oke	Base	0	500	0	Oke

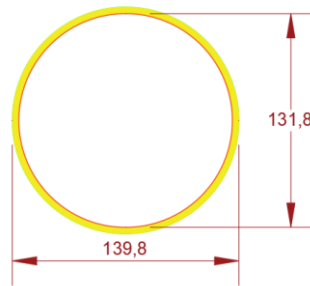
Tabel 15. Deformasi Vertikal



Gambar 20. Grafik Deformasi horizontal Model 1 – 7

D. Perhitungan Batang Tekan Dan Tarik

Menggunakan metode *Load And Resistance Factor Design (LRFD)* maka berdasarkan SNI 1729:2020, harus di lakukan pengecekan terhadap kelangsingan profil yang digunakan (λ_r) apakah profil langsing atau tidak langsing dengan syarat $\left(\frac{D}{t} \leq \lambda_r\right)$, dapat di lihat perhitungannya sebagai berikut : [20]



Gambar 21. Pipe Baja D139 mm

Menentukan tekuk lentur dari elemen struktur tanpa langsing berdasarkan SNI 1729:2020 pada pasal E3

$$\begin{aligned} \frac{K \times L}{r} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{Es}{fy}} = \frac{1 \times 6464,8}{48,033} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ &= 134,591 > 104,027 \end{aligned}$$

Karena dari hasil perhitungan di peroleh ternyata nilai $\frac{K \times L}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{Es}{fy}}$, maka tegangan kritis (f_{cr}) yang digunakan adalah $F_{cr} = 0,877F_e$, dimana F_e adalah tegangan tekuk elastis. [21]

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 Es}{\left(\frac{K \times L}{r}\right)^2} \\ &= \frac{3,14^2 \times 200000}{\left(\frac{1 \times 6464,8}{48,033}\right)^2} \\ &= 108,968 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka untuk nilai tegangan kritis (F_{cr}) adalah

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,877F_e \\ &= 0,877 \times 108,968 \\ &= 95,565 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi P_n \geq P_u = 146,775 \text{ kN} > 64,5 \text{ kN} \dots\dots \text{Aman !!!}$$

Sehingga untuks *stress ratio profil*

$$\begin{aligned} \text{Ratio} &= \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1 \\ &= \frac{64,5}{146,775} \leq 1 \\ &= 0,439 < 1 \dots\dots \text{Aman !!!} \end{aligned}$$

Steel Stress Check Information (AISC 360-16)

Story	Story11	Analysis Section	D139.8 (Diagonal)
Beam	B941	Design Section	D139.8 (Diagonal)

COMBO	STATION	/-----MOMENT	INTERACTION CHECK-----//	MAJ-SHR----	MIN-SHR--/	
ID	LOC	RATIO	=	AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
Envelope	0.0	0.258 (T)	=	0.258 + 0.000 + 0.000	0.005	0.000
Envelope	3232.4	0.312 (T)	=	0.259 + 0.052 + 0.000	0.000	0.000
Envelope	6464.8	0.260 (T)	=	0.260 + 0.000 + 0.000	0.005	0.000

Overwrites

Details

☒ Strength
☐ Deflection

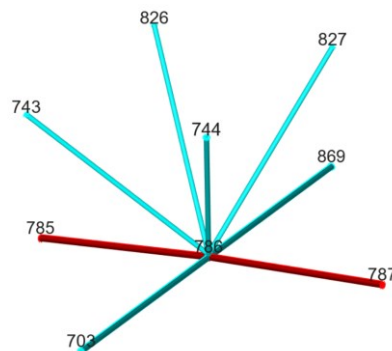
OK

Cancel

Gambar 22. *Stress ratio* ETABS

E. Perhitungan Sambungan Ball Joint

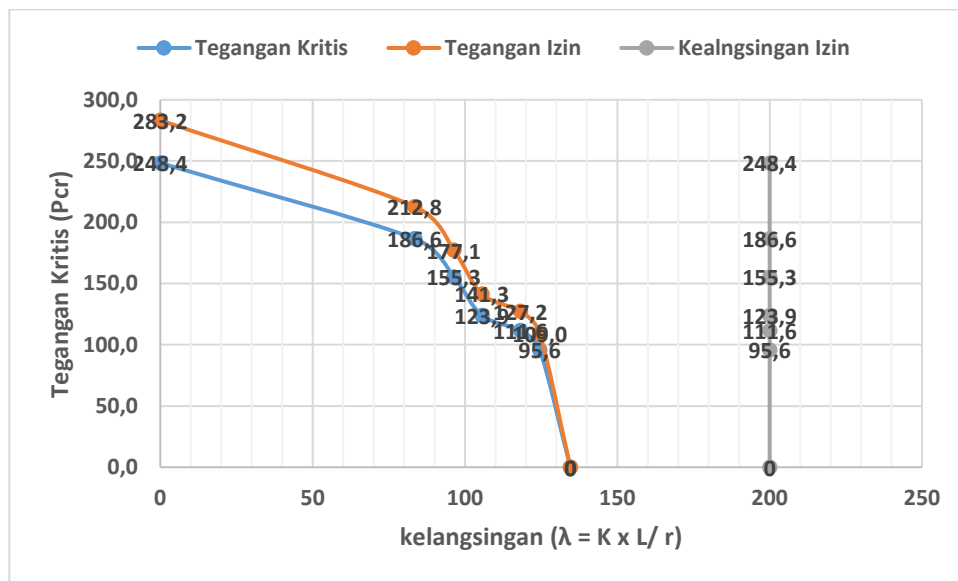
Dalam melakukan design *space truss* sangat penting untuk mengingat bahwa sangat penting, di karena kan semua *frame* akan terkoneksi pada bola baja nya sehingga sangat penting untuk memperhitungkan bola baja dengan benar [22].



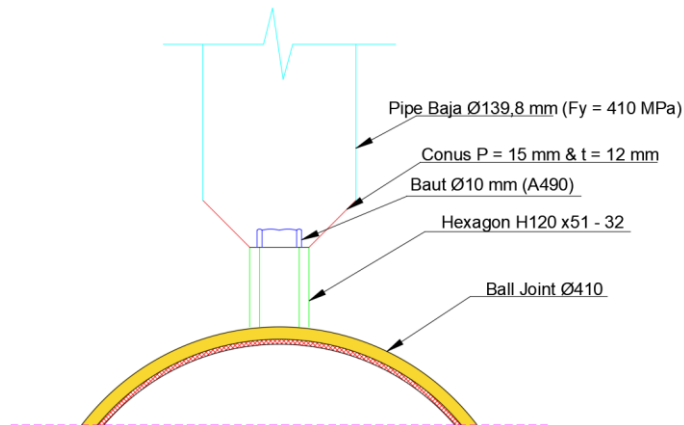
Gambar 23. *Joint yang di design*

Model	Dimensi Profil	Gaya batang kN	F _{nv} MPa	F _{nt} Mpa	Ashear mm ²	Dsleeve mm	Akontak mm ²	S _{min} mm	Dbola mm	σ terjadi Mpa	σ kontak Mpa	σ izin Mpa	Kontrol 1	Kontrol 2
1	D139.8 Diagonal	64												
	D139.8 Horizontal Atas	16												
	D139.8 Atas	385	469	780	5212.9	90.0	14137.2	135.0	405	384.3	172.9	780	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	6												
	D165.2 Bawah Tengah	307												
2	D190.7 Tepi Bawah	1666												
	D139.8 Diagonal	197												
	D139.8 Horizontal Atas	139												
	D139.8 Atas	457	469	780	4964.7	80.0	12566.4	120.0	360	463.2	185.3	780	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	222												
3	D165.2 Bawah Tengah	225												
	D190.7 Tepi Bawah	1089												
	D139.8 Diagonal	218												
	D139.8 Horizontal Atas	18												
	D139.8 Atas	477	469	780	5893.0	90.0	14137.2	135.0	410	434.4	195.5	780	Aman	Aman
4	D165.2 Horizontal Bawah	34												
	D165.2 Bawah Tengah	472												
	D190.7 Tepi Bawah	1544												
	D139.8 Diagonal	90												
	D139.8 Horizontal Atas	4												
5	D139.8 Atas	449	469	780	5162.8	90.0	14137.2	135.0	410	380.6	171.3	780	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	4												
	D165.2 Bawah Tengah	501												
	D190.7 Tepi Bawah	1373												
	D139.8 Diagonal	97												
6	D139.8 Horizontal Atas	7												
	D139.8 Atas	455	469	780	4972.7	80.0	12566.4	120.0	360	464.0	185.6	780	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	3												
	D165.2 Bawah Tengah	568												
	D190.7 Tepi Bawah	1202												
7	D139.8 Diagonal	497												
	D139.8 Horizontal Atas	8												
	D139.8 Atas	1204	469	780	15862.6	150.0	23561.9	225.0	680	421.0	315.7	780	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	115												
	D165.2 Bawah Tengah	1838												
8	D190.7 Tepi Bawah	3776												
	D139.8 Diagonal	153												
	D139.8 Horizontal Atas	19												
	D139.8 Atas	389	469	780	3658.5	70.0	10995.6	105.0	320	445.8	156.0	780	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	56												
9	D165.2 Bawah Tengah	319												
	D190.7 Tepi Bawah	781												

Tabel 16. *Diameter Ball Joint*



Gambar 24. *Tegangan kritis vs kelangsingan*



Gambar 25. Detail sambungan ball joint

Simpulan

Dari hasil analisa yang di lakukan maka di peroleh beberapa kesimpulan dari tujuan – tujuan masalah yang telah di tetapkan oleh bab sebelum nya, oleh karena itu kesimpulan dari kelima poin yang telah di tuangkan sebagai berikut:

Untuk partisipasi massa (mode) diperoleh mode pada model 1 (mode 1 = 73%, mode 2 = 52%, dan mode 3 = 32%), model 2 (mode 1 = 76%, mode 2 = 49%, dan mode 4 = 38%), model 3 (mode 1 = 65%, mode 2 = 42%, dan mode 4 = 30%), model 4 (mode 1 = 64%, mode 2 = 43%, dan mode 4 = 28%), model 5 (mode 1 = 65%, mode 2 = 43%, dan mode 4 = 28%), model 6 (mode 1 = 63%, mode 2 = 41%, dan mode 3 = 16%) dan model 7 (mode 1 = 74%, mode 2 = 47%, dan mode 4 = 36%), Untuk perioda struktur (T) diperoleh pada model 1 (mode 1 = 2,004 detik, mode 2 = 0,968 detik dan mode 3 = 0,565 detik), model 2 (mode 1 = 2,408 detik, mode 2 = 0,999 detik dan mode 3 = 0,627 detik), model 3 (mode 1 = 1,419 detik, mode 2 = 0,575 detik dan mode 3 = 0,393 detik), model 4 (mode 1 = 1,398 detik, mode 2 = 0,6 detik dan mode 3 = 0,386 detik), model 5 (mode 1 = 1,424 detik, mode 2 = 0,612 detik dan mode 3 = 0,393 detik), model 6 (mode 1 = 1,341 detik, mode 2 = 1,192 detik dan mode 3 = 0,483 detik) dan model 7 (mode 1 = 1,877 detik, mode 2 = 0,785 detik dan mode 3 = 0,518 detik), Untuk gaya gempa diambil nilai gempa dasar (V) diperoleh pada model 1 = 3142,501 kN, model 2 = 3566,82 kN, model 3 = 4233,43 kN, model 4 = 4116,19 kN, model 5 = 5058,02 kN, model 6 = 4881,18 kN dan model 7 = 3411,49 kN, Untuk hasil *displacement* dan *deformasi* di peroleh hasil dari ke 7 type dan diambil nilai yang maksimum nya, di dapat sebagai berikut: *Displacement* model 1 ($\Delta_x = 32,784$ mm dan $\Delta_y = 5,004$ mm), model 2 ($\Delta_x = 35,361$ mm dan $\Delta_y = 13,437$ mm), model 3 ($\Delta_x = 30,588$ mm dan $\Delta_y = 3,618$ mm), model 4 ($\Delta_x = 30,627$ mm dan $\Delta_y = 3,72$ mm), model 5 ($\Delta_x = 37,317$ mm dan $\Delta_y = 4,53$ mm), model 6 ($\Delta_x = 36,516$ mm dan $\Delta_y = 53,79$ mm) dan model 7 ($\Delta_x = 30,747$ mm dan $\Delta_y = 4,035$ mm), *Deformasi* model 1 ($\delta = 164,343$ mm), model 2 ($\delta = 185,287$ mm), model 3 ($\delta = 97,445$ mm), model 4 ($\delta = 98,093$ mm), model 5 ($\delta = 99,879$ mm), model 6 ($\delta = 122,443$ mm) dan model 7 ($\delta = 92,843$ mm), Untuk hasil dari design struktur *frame* diperoleh batang tekan dan batang tarik yang akan di tuangkan hasil sebagai berikut: Batang tekan diperoleh hasil untuk model 1 (146,775 kN > 64,492 kN), model 2 (169,822 kN > 139,258 kN), model 3 (395,696 kN > 218,408 kN), model 4 (157,879 kN > 90,047 kN), model 5 (436,7 kN > 96,881 kN), model 6 (317,633 kN > 115,499 kN) dan model 7 (338,252 kN > 152,516 kN), Batang tarik diperoleh hasil untuk model 1 (635,409 kN > 188,69 kN), model 2 (635,409 kN > 102,373 kN), model 3 (635,409 kN > 79,375 kN), model 4 (937,136 kN > 449,444 kN), model 5 (937,136 kN > 238,538 kN), model 6 (937,136 kN > 379,879 kN) dan model 7 (937,136 kN > 194,613 kN), Untuk hasil bola baja di peroleh untuk diameter yang digunakan untuk model 1 ($\varnothing 405$ mm), model 2 ($\varnothing 306$ mm), model 3 ($\varnothing 410$ mm), model 4 ($\varnothing 410$ mm), model 5 ($\varnothing 360$ mm), model 6 ($\varnothing 680$ mm) dan model 7 ($\varnothing 320$ mm). Dari hasil analisa yang telah di peroleh bahwa model 1 mempunyai tonase yang paling kecil dan yang paling besar berada pada model 6 dengan tonase 62,242% lebih berat dari model 1.

Ucapan Terima Kasih

Saya panjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, dimana saya di mampukan untuk menyelesaikan penelitian yang dilakukan dari awal sampai dengan akhir, jika bukan karna Tuhan Yang Maha Kuasa saya tidak akan mungkin mampu untuk melewati setiap tahap demi tahap dalam penelitian ini. Kemudian saya berterima kasih kepada orangtua, keluarga dan juga teman yang telah mendukung selama masa perkuliahan. Juga kepada dosen pembimbing dan juga dosen penguji yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan yang tidak terbatas.

References

- [1] A. L. Rionaldhy, Desain Software Space Frame Menggunakan MERO Sistem Terintegrasi dengan SAP2000 V14.1, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2007.
- [2] J. Handoko, H. Huzaim, and R. Putra, “Analisis Rangka Ruang (Space Truss) Menggunakan Baja Hollow yang Diisi Mortar FAS 0,4 dengan Variasi Ukuran Profil Baja Hollow terhadap Kapasitas dan Daktilitas Rangka,” *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 45–52, 2020.
- [3] ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, vol. 1, Applied Technology Council, California Seismic Safety Commission, 1996.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Jakarta: BSN, 2019.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, SNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Jakarta: BSN, 2020.
- [6] C. A. Freitas and A. Silva, “Numerical and Experimental Study of Steel Space Truss with Stamped Connection,” *Journal of Civil Engineering and Architecture*, vol. 5, no. 12, pp. 1109–1115, 2011.
- [7] G. S. Ramaswamy, G. R. Surech, and M. A. Khan, Analysis, Design and Construction of Steel Space Frame, London: Thomas Telford, 2002.
- [8] B. Hamidi, “Experimental Analysis of Steel Space Truss Structure,” in *Proc. 17th Int. Research/Expert Conf. on Trends in the Development of Machinery and Associated Technology (TMT 2013)*, Istanbul, Turkey, pp. 633–636, 2013.
- [9] H. Rakib and N. A. Ragib, “Comparison of Effect of Wind and Seismic Load on Building Shape,” *International Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 8, no. 9, pp. 124–128, 2017.
- [10] T. Herzog, Pneumatic Structures: A Handbook for the Architect and Engineer, London: Lockwood Staples, 1977.
- [11] J. Holmes and R. Weller, Design Wind Speeds for the Asia-Pacific Region, Standards Australia, HB 212-2002, 2016.
- [12] Huthudi, “Struktur Rangka Ruang Baja Sebagai Pendukung Lantai Atas,” *Dimensi Teknik Arsitektur*, vol. 33, no. 1, pp. 52–59, Jul. 2005.
- [13] M. Irandianto, Perencanaan Struktur Atap Stadion Mimika, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2003.
- [14] A. F. Kadhum, “Nonlinear Finite Element Analysis of Space Truss,” *Anbar Journal for Engineering Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 12–21, 2010.
- [15] J. W. Kim, “Analysis and Test for Shaping Formation of Space Truss by Means of Cable-Tensioning,” in *Proc. ISCAS’07*, ed. R. G. Beale, Oxford Brookes University, 2007.
- [16] T. T. Lan, “Space Frame Structures,” in *Structural Engineering Handbook*, ed. W. F. Chen, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
- [17] T. T. Lan, “Space Frame Structures,” in *Structural Engineering Handbook*, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
- [18] C. V. R. Murty, G. Rupen, A. R. Vijayanarayan, and V. V. Mehta, Earthquake Behaviour of Buildings, Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority (GSDMA), 2013.
- [19] National Institute of Building Sciences, NEHRP Provisions: Design Examples, Washington, DC: FEMA, 2006.

- [20] I. Nofrianto, “Perbandingan Antara Sistem Rangka Batang Bidang (Plane Truss) dengan Sistem Rangka Ruang (Space Truss) pada Perencanaan Struktur Atap Stadion Utama Riau,” Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, 2013.
- [21] A. Oktoriyanto, “Perbandingan Respons Struktur Akibat Beban Gempa dan Angin Statik Gedung Bertingkat Menurut SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2002,” Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, vol. 2, no. 3, pp. 34–42, 2014.
- [22] C. G. Salmon and J. E. Johnson, Steel Structures: Design and Behavior, 4th ed., New York: HarperCollins College Publishers, 1996.