Teknika 19 (3): 767-781

JURNAL TEKNIKA ISSN: 0854-3143
e-ISSN: 2622-3481
Journal homepage: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika
Journal Email: teknika@polsri.ac.id

Analisis Perilaku Dinamik Struktur *Portal Frame* Mengacu pada Profil Baja BS 5950-1:2000 terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Juni Indriani*[1]

[*1] Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, Kota Medan, Indonesia
*Email Penulis Korespondensi: juniindriani@polmed.ac.id

Abstrak

Portal frame telah digunakan secara luas sejak abad ke-19 karena kekuatan tinggi, efektif, dan efisien. Bahkan hingga saat ini, portal frame tetap menjadi pilihan konstruksi yang populer diterapkan pada bangunan industri, pergudangan, dan komersial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons dinamik struktur portal frame dengan menggunakan profil baja berdasarkan BS 5950-1:2000, dengan bentang 15 m dan 40 m, terhadap beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019. Penelitian ini dilakukan karena dalam British Standard belum mempertimbangkan adanya beban gempa, sementara di Indonesia, beban gempa menjadi faktor penting dalam desain struktur bangunan. Analisis dinamik dilakukan dengan analisis modal pada tiga lokasi seismik berbeda, yaitu Bangka Belitung (Rangka Momen Biasa/RMB), Palembang (Rangka Momen Menengah/RMT), dan Tarutung (Rangka Momen Khusus/RMK). Hasil menunjukkan bahwa mode 1 dan 2 dominan translasi, sedangkan mode 3 rotasi, dengan partisipasi massa kumulatif hampir 100% tercapai pada mode ke-20 dan ke-25, masing-masing untuk bentang 15 m dan 40 m. Nilai deflection horizontal masih dalam batas aman, dengan nilai maksimum berada pada lokasi Tarutung, sistem Rangka Momen Khusus (RMK) pada kategori desain seismik (KDS) E, yaitu sebesar 43,828 mm untuk bentang 15 m dan 68,703 mm untuk bentang 40 m.

Kata kunci*—portal frame, respons dinamik, analisis modal, BS 5950-1:2000, SNI 1726:2019*

Abstract

Portal frames have been widely used since the 19th century due to their high strength, effectiveness, and efficiency. portal frames remain a popular structural choice in industrial, warehouse, and commercial buildings. This study aims to analyze the dynamic response of portal frame structures using steel profiles based on BS 5950-1:2000, with spans of 15 m and 40 m, under seismic loads according to SNI 1726:2019. This research was conducted because the British Standard does not consider seismic loads, whereas in Indonesia, seismic loads are an important factor in building structural design. Dynamic analysis was performed using modal analysis at three different seismic locations, namely Bangka Belitung (Ordinary Moment Frame/OMF), Palembang (Intermediate Moment Frame/IMF), and Tarutung (Special Moment Frame/SMF). The results show that modes 1 and 2 are dominated by translational motion, while mode 3 is rotational, with cumulative mass participation of nearly 100% achieved at modes 20 and 25 for spans of 15 m and 40 m, respectively. The horizontal deflection values are still within safe limits, with the maximum deflection occurring in Tarutung, in the SMF system under Seismic Design Category (SDC) E, at 43.828 mm for the 15 m span and 68.703 mm for the 40 m span.

Received: May 26, 2025; Online Available: June 29, 2025

Keywords—*portal frame, dynamic response, modal analysis, BS 5950-1:2000, SNI 1726:2019*

1. PENDAHULUAN

Struktur *portal frame* banyak digunakan dalam bangunan industri baik itu bentang panjang maupun bentang pendek karena kuat, kemudahan konstruksi, efisiensi biaya, dan memiliki akses ruang bebas yang luas. Konstruksi *portal frame* pertama kali dikenalkan di Eropa dengan bentuk *truss*. Dimana pada abad ke-19 atap metal pertamakali dibangun pada tahun 1786 oleh Victor Louis (1731-1800) dengan menggunakan atap berbentuk *picthed roof* [1].

Portal frame pada umumnya diterapkan pada bangunan industri yang bertingkat rendah dan terdiri dari kolom dan *rafter* miring (*pitched rafter)* yang dihubungkan oleh sambungan pemikul momen. Struktur ini juga sangat bergantung pada kekakuan sambungan lentur yang diperkuat dengan elemen *haunch,* dan kolom juga harus mampu memikul gaya geser yang disebabkan oleh gaya tarik pada baut di bagian *haunch* [2].

Pada wilayah rawan gempa seperti Indonesia, perencanaan struktur bangunan harus mempertimbangkan beban gempa secara menyeluruh, terutama pada struktur-struktur penting seperti *portal frame* yang umum digunakan pada bangunan industri. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan analisis modal (*modal analysis*) untuk mengevaluasi respons dinamik struktur portal terhadap beban gempa.

Penelitian ini mengacu pada profil baja dalam *British Standard* BS 5950-1:2000, sebagaimana digunakan oleh [2], yang hanya mempertimbangkan beban angin sebagai beban lateral karena kondisi geografis Inggris dengan kecepatan angin tinggi mencapai 58,3 m/s (130 mph) di regional D [3]. Sebaliknya, Indonesia merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tinggi dan kecepatan angin yang relatif rendah, sehingga pendekatan desain struktur baja perlu disesuaikan. Atas dasar tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian pada penampang yang ada pada peraturan *British Standard* dengan menggunakan standar Indonesia yaitu SNI 1726:2019.

Lokasi penelitian ini berada di tiga wilayah berbeda di Indonesia dengan kategori desain seismik yang berbeda, yaitu Bangka Belitung untuk Rangka Momen Biasa (RMB) yang secara astronomis posisi perencanaan struktur gedung terletak antara $106^0$26’26,11″ BT dengan $2^0$44′27,78″ LS, Palembang untuk Rangka Momen Menengah (RMT) yang terletak antara $104^0$47′0″ BT dengan -$2^0$59′0″ LS, dan Tarutung untuk Rangka Momen Khusus (RMK) yang terletak antara $98^0$57′43,2″ BT dengan $2^0$1′18,48″ LU.

Analisis difokuskan pada perilaku dinamik struktur berupa periode natural, *mode shape, stress ratio,* dan defleksi horizontal akibat pembebanan gempa, yang diperoleh melalui analisis modal. Beberapa penelitian sebelumnya terkait perencanaan struktur *portal frame* telah dilakukan untuk memahami respons dinamik pada struktur. Penelitian oleh Hao [4] menganalisis karakteristik dinamik *portal frame* dengan *variable section*, yang berfokus pada mode getar dan frekuensi fundamental menggunakan simulasi berbasis elemen hingga melalui perangkat lunak Ansys. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi penampang memengaruhi bentuk mode getar. Frekuensi fundamental pada model 3D lebih tinggi dibandingkan model 2D untuk seluruh mode getar, dengan selisih berkisar antara 0,2% hingga 0,8%.

Selaras dengan temuan tersebut, Haydar et al. [5] yang membandingkan *portal steel truss* dengan *portal steel frames* pada bangunan industri bentang panjang menggunakan SAP2000. Penelitian ini menyimpulkan bahwa struktur *portal steel truss* lebih efisien dalam penggunaan material dibandingkan dengan *portal steel frames*.

Analisis lebih lanjut terhadap karakteristik dinamik dilakukan oleh Siraj [6] melakukan analisis modal pada *portal frame* dengan menggunakan MATLAB untuk menentukan frekuensi alami dan bentuk mode getar selama getaran bebas. Frekuensi alami untuk bangunan yang diteliti sebesar 5,218 rad/s, 15,0245 rad/s, 23,0189 rad/s dan 28,236 rad/s.

Sementara itu, aspek kerusakan struktural terhadap perilaku dinamik diteliti oleh Hamza et al. [7] melalui pendekatan eksperimental dan simulasi numerik pada rangka balok-kolom baja.

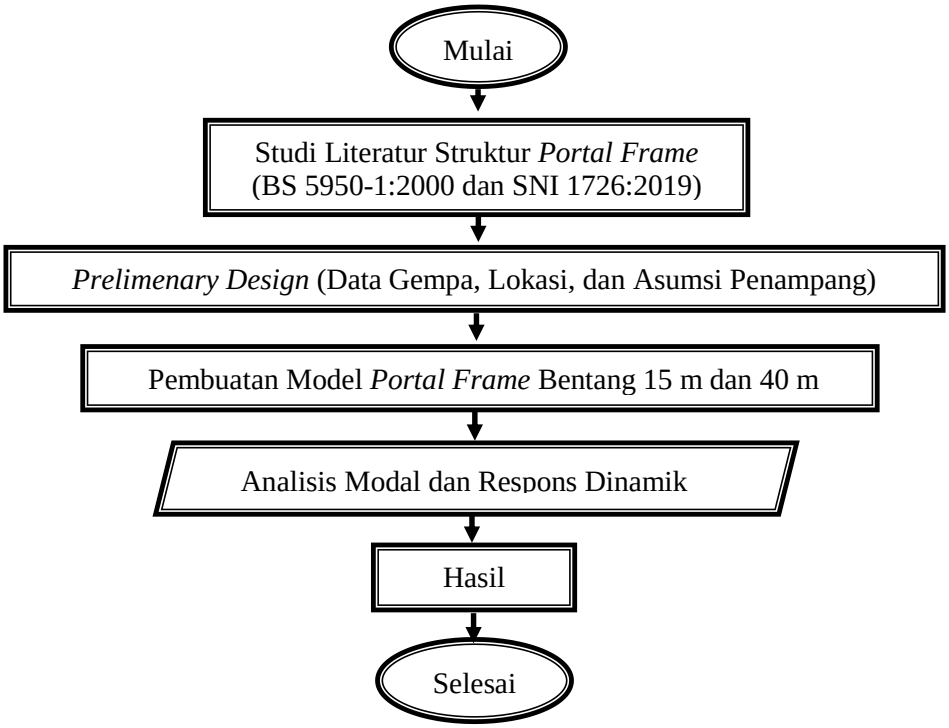
Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan lokal akibat beban seismik menyebabkan penurunan frekuensi alami serta perubahan signifikan pada bentuk mode getar, yang menandakan pentingnya mempertimbangkan kondisi struktur pasca-kerusakan dalam perencanaan struktur tahan gempa.

Terakhir, Liang et al. [8] melakukan analisis respons dinamik pada struktur *portal frame* ringan dengan variasi kemiringan atap, menggunakan data gempa El Centro dan perangkat *software* SAP2000. Fokus utama penelitian ini adalah untuk untuk mengamati pengaruh sudut kemiringan terhadap respons struktur terhadap beban gempa. Semakin besar kemiringan atap, maka perpindahan lateral semakin tinggi dan percepatan puncak pada node atas *portal frame* juga meningkat.

Sebagaimana tercantum dalam catatan resmi BMKG tahun 2023, tercatat sebanyak 10.789 kejadian gempa bumi, dengan 861 di antaranya dirasakan oleh masyarakat dan 24 kejadian menyebabkan kerusakan infrastruktur yang signifikan [10]. Data tersebut menunjukkan tingginya tingkat risiko seismik di Indonesia, sehingga perencanaan struktur *portal frame* yang mempertimbangkan respons dinamik menjadi sangat penting untuk menghasilkan desain bangunan yang aman terhadap gempa dan memenuhi standar perencanaan nasional, seperti yang diatur dalam SNI 1726:2019.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan analisis numerik dan bantuan perangkat lunak ETABS pada *portal frame* bentang 15 m dan 40 m, kemudian mengkaji tiga jenis sistem struktur rangka tersebut, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (RMB), Rangka Momen Menengah (RMT), dan Rangka Pemikul Momen Khusus (RMK) berdasarkan parameter dari SNI 1726:2019, mencakup analisis modal dan *deflection* horizontal. Prosedur penelitian didesain mengikuti diagram alir (Gambar 1) yang terdiri dari studi literatur, *preliminary design*, pembuatan model, analisis struktur, analisis modal, dan evaluasi hasil.



Gambar 1 Diagram alir analisis

2.1 Studi Literatur

Proses awal dalam penelitian ini mencakup dengan kajian literatur terhadap BS 5950-1:2000 sebagai acuan pemilihan dan penentuan profil baja UB dan SNI 1726:2019 sebagai acuan ketahanan gempa struktur bangunan. Selain itu ditinjau terhadap penelitian terdahulu terkait analisis *portal frame* dan analisis modal, baik berbasis numerik maupun eksperimental, seperti perhitungan analisis modal dengan menggunakan MATLAB [6] dan perhitungan mode getar dan respons struktur *portal frame* terhadap gempa menggunakan *Ansys* [4].

2.2 Preliminary Design

Pada tahap ini dilakukan penentuan data gempa berdasarkan lokasi studi, kategori desain seismik, asumsi penampang berdasarkan Tabel A.1 BS 5950-1:2000, melalui pendekatan kombinasi pembebanan 1,2 W_D + 1,6 $W_{Lr.}$ [2]. Beban hidup yang bekerja (W_{Lr}) pada struktur *portal frame* adalah beban pekerja (Lr) sebesar 0,96 kN/m^2 yang bekerja pada struktur rangka atap berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 4.3.1 [11]. Selanjutnya adalah beban mati, berupa berat sendiri struktur dan beban mati tambahan. Beban mati tambahan meliputi mekanikal + elektrikal, atap zyncalum, dan pipa air bersih & kotor, totalnya sebesar 0,554 kN/m^2. Berat sendiri struktur dihitung secara otomatis dengan menggunakan *software* ETABS Selain itu, hal lainnya yang direncanakan adalah material yang digunakan. Seperti pada kolom dan rafter adalah BJ-41, Z purlin BJ-44, serta *sag rod* dan *wind bracing* BjTP 280.

2.3 Pembuatan Model Portal Frame

Struktur dimodelkan pada s*oftware* ETABS dalam bentuk 3D sesuai dengan ketentuan BS 5950-1:2000 dengan asumsi teknis meliputi dua model, yaitu model 1 bentang 15 m dan model 2 bentang 40 m.

a. Elemen struktur utama: kolom dan rafter menggunakan profil baja UB, sesuai dengan *British Standard*.
b. Kemiringan atap ditetapkan 6° sesuai karakteristik umum bangunan industri.

2.4 Analisis Modal dan Respons Dinamik

Analisis dinamik dilakukan menggunakan analisis modal untuk memperoleh periode natural, mode getar, rasio partisipasi massa, dan *deflection* horizontal. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil numerik terhadap persyaratan teknis dalam SNI 1726:2019:

a. Pasal 7.9.1.1: nilai partisipasi massa harus mencapai 100% dengan ketetapan periode bangunan minimum (T_{min}) < 0,05 s.
b. Pasal 7.12.1.1: batas *deflection* horizontal ijin untuk kategori risiko II:
   KDS B: $\Delta_a \leq 0{,}02\ h_s$
   KDS D dan E: $\Delta_a \leq 0{,}02\ h_s/\rho$

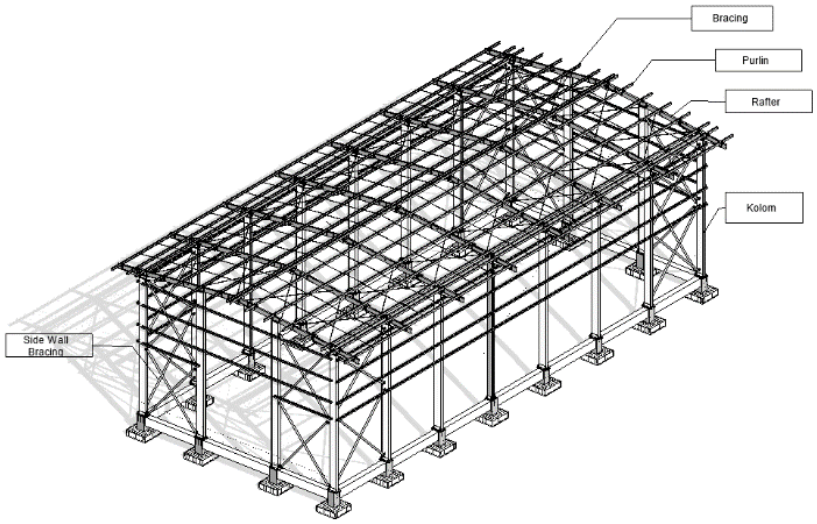
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi Struktur Portal Frame yang Digunakan

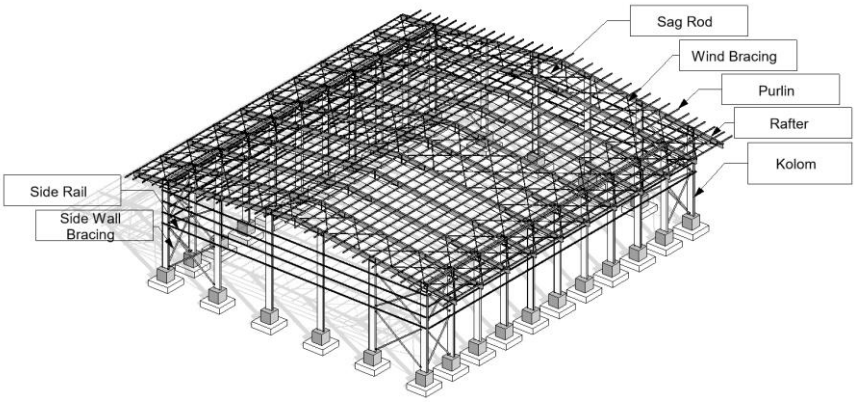
Data material struktur *portal frame* yang digunakan pada kolom dan rafter adalah BJ-41. Z purlin menggunakan BJ-55. *Sag rod* dan *wind bracing* menggunakan BjTP 280 [12]. Struktur *portal frame* yang dianalisis merupakan bangunan bertingkat ringan yang tidak melebihi 2 tingkat di atas tanah dasar (Gambar 2 – Gambar 3).

Perencanaan besarnya profil berdasarkan tinggi struktur dan beban yang dipikul oleh *rafter* yang telah dikalikan dengan faktor pembebanan [2]. Profil penampang kolom dan rafter pada *portal frame* yang dianalisis dirancang dengan sudut kemiringan atap sebesar 6°. Faktor pembebanan yang digunakan untuk mengambil profil yang ada pada BS 5950-1:2000 adalah berdasarkan kombinasi pembebanan 1,2 W_D + 1,6 W_{Lr}. Pada model 1 (bentang 15 m) total dari kombinasi pembebanan adalah sebesar 16,046 kN/m, sedangkan pada model 2 (bentang 40 m)

adalah sebesar 15,520 kN/m. Oleh karena itu, digunakan profil baja yang mampu memikul beban sebesar 16 kN/m sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 2 Bangunan industri bentang 15 m yang ditinjau (model 1)



Gambar 3 Bangunan industri bentang 40 m yang ditinjau (model 2)

Tabel 1 Rekapitulasi penampang kolom dan rafter pada struktur *portal frame* yang diteliti dengan sudut kemiringan atap sebesar 6°

Elemen	Model 1	Model 2
Kolom Rafter	UB 610 X 229 X 101 UB 356 X 127 X 33	UB 914 X 305 X 289 UB 686 X 254 X 125

*Source: [2].

Mengacu pada ketentuan Pasal 7.2.7.5.1 SNI 1726:2019, sistem Rangka Momen Menengah (RMT) dapat diterapkan pada struktur baja dalam kategori desain seismik D, E, atau F, selama tinggi bangunan tidak lebih dari 20 meter dan beban mati atap, termasuk tributarinya, berada di bawah 0,96 kN/m² [13]. Spektral percepatan untuk kondisi tanah lunak didapat dari Puskim 2021 (Tabel 2).

Tabel 2 Data gempa

	Bangka Belitung	Palembang	Tarutung
PGA (g)	0,013	0,148	0,838
S_S (g)	0,033	0,291	2,083

S_1 (g)	0,045	0,249	0,929
TL	12	20	12
S_{DS} (g)	0,050	0,440	1,110
S_{D1} (g)	0,130	0,510	1,240
T_0 (detik)	0,520	0,230	0,220
T_S (detik)	2,600	1,160	1,120
F_a	2,400	1,815	0,800
F_v	4,200	3,043	2,000
Faktor keutamaan gempa (I_e)	1	1	1
Kategori risiko gempa	II	II	II
Kategori desain seismik (KDS)	B	D	E

*Source: [14] [13].

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa nilai beberapa parameter yang diperoleh dari data Puskim 2021 menunjukkan daerah Tarutung memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan Palembang dan Bangka Belitung. Hal ini mengakibatkan Tarutung diklasifikasikan ke dalam Kategori Desain Seismik (KDS) E, yang menunjukkan tingkat bahaya seismik yang sangat tinggi. Sebaliknya, Palembang berada pada Kategori Desain Seismik (KDS) D yang menunjukkan tingkat bahaya sedang, sedangkan Bangka Belitung termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) B dengan tingkat bahaya gempa ringan. Perbedaan tingkat risiko seismik antar wilayah ini berkaitan erat dengan kondisi geologis masing-masing. Secara geografis, Tarutung berada di wilayah busur belakang (*back-arc*) dalam zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Lokasinya juga sangat berdekatan dengan jalur aktif Sesar Sumatera, khususnya pada segmen Sesar Renun dan Toru, yang dikenal memiliki potensi memicu gempa dangkal dengan magnitudo besar secara berkala. Tingginya aktivitas seismik di kawasan ini semakin diperkuat oleh kondisi topografi berbukit serta sifat tanah yang cenderung mengamplifikasi gelombang gempa secara signifikan [15]. Dengan demikian, wilayah Tarutung memerlukan perencanaan struktur yang lebih ketat dan mendetail terhadap beban gempa, sebagaimana ditetapkan dalam SNI 1726:2019.

3.2 Analisis Modal (Modal Analysis) Sistem Dinamik dengan Banyak Derajat Kebebasan (MDOF)

Analisis modal merupakan salah satu metode analisis dinamik yang dapat digunakan untuk mengetahui respons struktur terhadap getaran atau beban dinamik. Tujuan dari analisis modal adalah untuk memperoleh periode natural, *mode shape*, dan partisipasi massa dari struktur. Dalam konteks perencanaan seismik, informasi ini penting untuk mengetahui bagaimana struktur akan berperilaku saat terkena beban gempa. *Multi Degree of Freedom* (MDOF) merupakan persamaan gerak massa dengan banyak derajat kebebasan [16]. Sesuai dengan persyaratan yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, nilai partisipasi massa harus mencapai 100% dengan ketetapan periode bangunan minimum (T_{min}) < 0,05 s. Nilai rasio modal partisipasi massa untuk pemodelan di 3 lokasi dengan menggunakan profil pada standar BS 5950-1:2000 diperoleh dari *software* ETABS (Tabel 3 – Tabel 4).

Tabel 3 Rasio modal partisipasi massa (model 1)

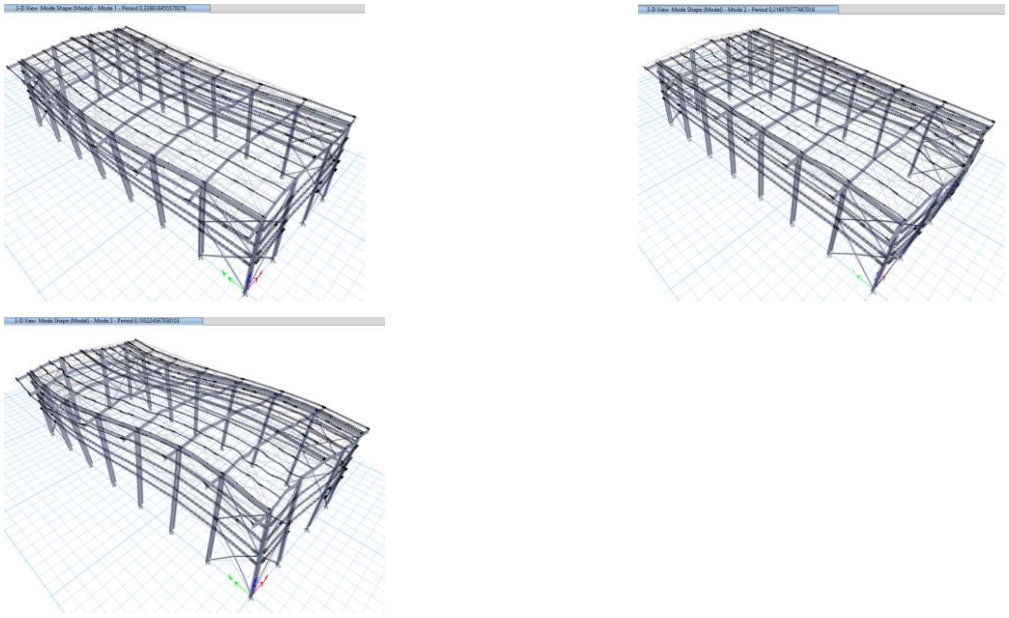
Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0,340	0,820	0	0,000003	0,820	0,000	0,000
2	0,217	0	0,933	0	0,820	0,933	0,000
3	0,195	0	0	0,261	0,820	0,933	0,261
4	0,129	0,00001	0,000001	0,5652	0,820	0,933	0,827
5	0,122	0,141	0	0	0,961	0,933	0,827
6	0,120	0,00001	0,0003	0,00001	0,961	0,933	0,827
7	0,119	0,006	0,00005	0,00002	0,967	0,933	0,827

8	0,118	0	0,001	0,00003	0,967	0,934	0,827
9	0,118	0,0001	0,0002	0,0028	0,967	0,935	0,829
10	0,118	0,002	0,0001	0,0008	0,969	0,935	0,830
11	0,110	0	0	0,0005	0,969	0,935	0,831
12	0,105	0	0,001	0,00004	0,969	0,936	0,831
13	0,100	0	0,059	0	0,969	0,995	0,831
14	0,090	0	0	0,1221	0,969	0,995	0,953
15	0,076	0	0,00001	0	0,969	0,995	0,953
16	0,071	0,012	0	0,000001	0,981	0,995	0,953
17	0,065	0	0,0007	0,000002	0,981	0,996	0,953
18	0,065	0,00001	0	0,0033	0,981	0,996	0,956
19	0,056	0,00002	0,0003	0,000006	0,981	0,996	0,956
20	0,053	0,0004	0,00001	0,0005	0,982	0,996	0,957

Tabel 4 Rasio modal partisipasi massa (model 2)

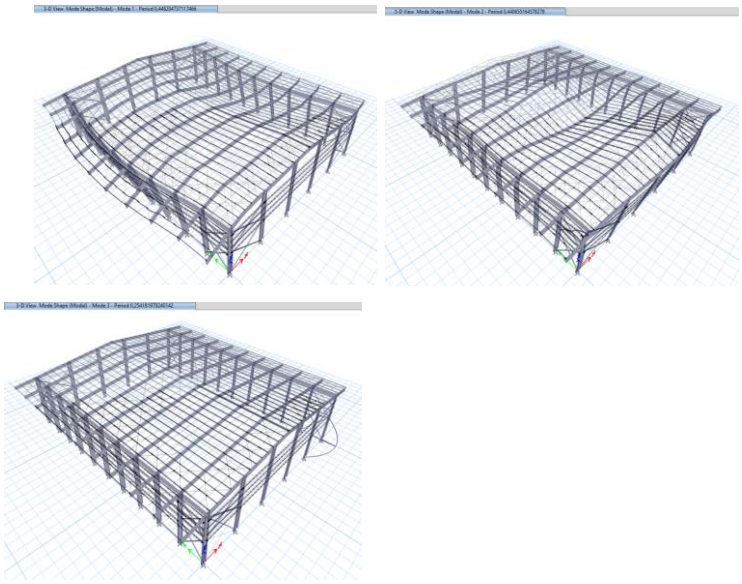
Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0,448	0,842	0	0	0,842	0,000	0
2	0,441	0	0,925	0	0,842	0,925	0
3	0,254	0	0	0,008	0,842	0,925	0,008
4	0,254	0	0,002	0	0,842	0,927	0,008
5	0,254	0	0	0	0,842	0,927	0,008
6	0,254	0	0	0	0,842	0,927	0,008
7	0,237	0	0	0,690	0,842	0,927	0,598
8	0,193	0	0	0,354	0,842	0,927	0,952
9	0,176	0	0,07	0	0,842	0,997	0,952
10	0,156	0,039	0	0	0,882	0,997	0,952
11	0,155	0	0,00003	0	0,882	0,997	0,952
12	0,153	0,106	0	0	0,987	0,997	0,952
13	0,146	0	0	0,00002	0,987	0,997	0,952
14	0,130	0,00001	0	0	0,987	0,997	0,952
15	0,130	0	0,0003	0	0,987	0,997	0,952
16	0,130	0	0	0,0002	0,987	0,997	0,952
17	0,092	0	0	0	0,987	0,997	0,952
18	0,083	0,008	0	0	0,995	0,997	0,952
19	0,077	0	0,0006	0	0,995	0,998	0,952
20	0,071	0	0,00002	0	0,995	0,998	0,952
21	0,069	0	0,000001	0,000001	0,995	0,998	0,952
22	0,065	0,0002	0	0,000012	0,995	0,998	0,952
23	0,060	0,0008	0	0,000025	0,996	0,998	0,952
24	0,057	0	0,00002	0	0,996	0,998	0,952
25	0,054	0,0001	0	0,0003	0,996	0,998	0,952

Tabel 3 – Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk 3 mode utama. Pada model 1, rasio modal partisipasi massa mencapai hampir 100% ada pada mode 20 dengan perioda bangunan 0,053 s. Sedangkan pada model 2, mencapai hampir 100% ada pada mode 25, di mana memiliki periode bangunan 0,054 s. Pada model 1, rasio modal partisipasi massa mencapai hampir 100% ada pada mode 20 dengan perioda bangunan 0,053 s. Sedangkan pada model 2, mencapai hampir 100% ada pada mode 25, dimana memiliki periode bangunan 0,054 s. Dengan demikian, beban gempa menggunakan analisis modal diperhitungkan hingga pada mode bangunan tersebut. Bentuk dari *mode shape* struktur bangunan *portal frame* hingga mode 3 dapat dilihat pada Gambar 4 – Gambar 5.



(a) (b) (c)

Gambar 4 (a) Mode 1, (b) model 2, (c) mode 3 *portal frame* pada model 1



(a) (b) (c)

Gambar 5 (a) Mode 1, (b) model 2, (c) mode 3 *portal frame* pada model 2

Persamaan getaran bebas tanpa redaman dilihat pada persamaan Pers. 1 – Pers. 2,

$$[K] - \omega^2[M] = 0 \quad \text{di mana } \{a\} \neq 0 \tag{1}$$

Di mana:

$$\{\omega\} = \begin{Bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_n \end{Bmatrix} \tag{2}$$

Maka didapatkan *mode shape* yang dapat dilihat pada persamaan Pers. 3.

$$[\phi_{ij}] = \{a_i\} = \begin{Bmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \dots \\ a_{in} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

Untuk perhitungan beban gempa dengan analisis modal dapat dilihat pada persamaan Pers. 4 – Pers. 8.

$$H_{E,i} = m_{e,i} S_{ai} \quad (4)$$

Di mana:

$$m_{e,i} = \frac{\left[\sum_{j=1}^{n} m_j \phi_{ij}\right]^2}{\sum_{j=1}^{n} m_j \phi_{ij}^2} \quad (5)$$

$$\lambda_{i,j} = \frac{m_j \phi_{ij}}{\sum m_j \phi_{ij}} \quad (6)$$

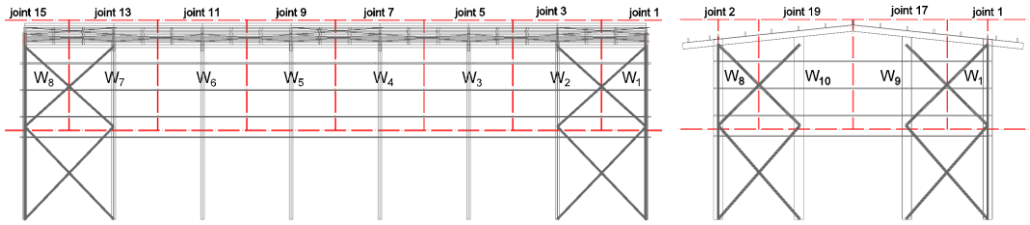
$$\varepsilon_i = \frac{m_{e,i}}{m} \quad (7)$$

Persamaan menjadi:

$$F = \lambda_{i,j}\ m\ S_a \quad (8)$$

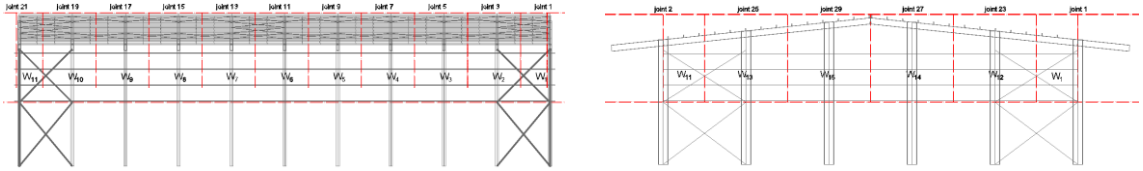
Dari persamaan tersebut maka diambil nilai rata-rata yang diaplikasikan sebagai beban gempa dari setiap mode getar bangunan yang dapat dilihat pada persamaan Pers. 9, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5 – Tabel 10.

$$F_E = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2 + (F_3)^2 + \dots + (F_n)^2} \quad (9)$$



(a) (b)

Gambar 6 (a) Sumbu y, (b) sumbu x definisi beban gempa pada model 1



(a) (b)

Gambar 7 (a) Sumbu y, (b) sumbu x definisi beban gempa pada model 2

Beban gempa didistribusikan pada setiap *joint* kolom pada arah sumbu memanjang (sumbu-X) dan sumbu melintang (sumbu-Y) secara merata berdasarkan jumlah *joint* yang tersedia. Pada Model 1, beban gempa didistribusikan ke 20 *joint*, sedangkan pada model 2 didistribusikan ke 30 *joint*, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6 – Gambar 7 dan Tabel 5 – Tabel 10.

Tabel 5 Definisi beban gempa pada model 1 dan model 2 di Bangka Belitung menggunakan profil pada standar BS 5950-1: 2000

Joint	W_i	Model 1				Model 2			
		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)	
		$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)
1	W_1	0,112	0,334	0,551	0,742	0,336	0,580	0,886	0,941
2	W_1	0,110	0,332	0,190	0,436	0,336	0,580	0,886	0,941
3	W_2	5,999	2,449	18,844	4,341	15,015	3,875	47,548	6,896
4	W_2	5,908	2,431	6,805	2,609	15,008	3,874	43,570	6,601
5	W_3	3,460	1,860	20,166	4,491	14,591	3,820	43,078	6,563
6	W_3	3,745	1,935	6,891	2,625	14,565	3,816	43,078	6,563

Joint	W_i	Model 1				Model 2			
		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)	
		$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)
7	W_4	6,610	2,571	19,724	4,441	25,466	5,046	43,241	6,576
8	W_4	6,616	2,572	7,410	2,722	25,445	5,044	43,234	6,575
9	W_5	6,787	2,605	19,571	4,424	41,107	6,411	45,870	6,773
10	W_5	6,784	2,605	7,390	2,719	41,128	6,413	45,870	6,773
11	W_6	3,499	1,870	18,809	4,337	46,275	6,803	48,408	6,958
12	W_6	3,552	1,885	6,825	2,612	46,276	6,803	48,408	6,958
13	W_7	4,621	2,150	17,272	4,156	41,246	6,422	45,868	6,773
14	W_7	5,435	2,331	6,519	2,553	41,224	6,421	45,868	6,773
15	W_8	0,067	0,258	0,504	0,710	24,357	4,935	43,211	6,574
16	W_8	0,067	0,259	0,186	0,432	25,723	5,072	45,648	6,756
17	W_9	0,104	0,323	0,420	0,648	14,613	3,823	43,081	6,564
18	W_9	0,065	0,255	0,848	0,921	14,633	3,825	43,081	6,564
19	W_{10}	0,105	0,324	1,398	1,182	14,755	3,841	47,529	6,894
20	W_{10}	0,067	0,259	0,564	0,751	14,783	3,845	43,553	6,599
21	W_{11}	-	-	-	-	0,317	0,563	0,886	0,941
22	W_{11}	-	-	-	-	0,317	0,563	0,886	0,941
23	W_{12}	-	-	-	-	0,219	0,468	0,587	0,766
24	W_{12}	-	-	-	-	0,205	0,453	0,568	0,754
25	W_{13}	-	-	-	-	0,219	0,468	0,587	0,766
26	W_{13}	-	-	-	-	0,205	0,453	0,568	0,754
27	W_{14}	-	-	-	-	0,330	0,574	0,795	0,891
28	W_{14}	-	-	-	-	0,307	0,554	0,756	0,869
29	W_{15}	-	-	-	-	0,330	0,574	0,795	0,891
30	W_{15}	-	-	-	-	0,307	0,554	0,756	0,869

Tabel 6 Definisi beban gempa pada model 1 dan model 2 di Palembang menggunakan profil pada standar BS 5950-1: 2000

Joint	W_i	Model 1				Model 2			
		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)	
		$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)
1	W_1	8,643	2,940	42,646	6,530	26,054	5,104	3938,04	62,754
2	W_1	8,552	2,924	14,735	3,839	26,054	5,104	3938,04	62,754
3	W_2	464,582	21,554	1459,25	38,200	1162,79	34,099	3846,22	62,018
4	W_2	457,532	21,390	526,95	22,955	1162,18	34,091	3845,62	62,013

Joint	W_i	Model 1				Model 2			
		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)	
		$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)
5	W_3	267,967	16,370	1561,67	39,518	1129,92	33,614	4010,08	63,325
6	W_3	290,007	17,030	533,65	23,101	1127,92	33,585	4010,08	63,325
7	W_4	511,875	22,625	1527,39	39,082	1972,07	44,408	4198,20	64,794
8	W_4	512,309	22,634	573,80	23,954	1970,50	44,390	4198,20	64,794
9	W_5	525,590	22,926	1515,57	38,930	3183,31	56,421	4009,96	63,324
10	W_5	525,324	22,920	572,32	23,923	3184,94	56,435	4009,96	63,324
11	W_6	270,926	16,460	1456,59	38,165	3583,54	59,863	3843,89	61,999
12	W_6	275,051	16,585	528,49	22,989	3583,59	59,863	4060,68	63,723
13	W_7	357,856	18,917	1337,58	36,573	3194,10	56,516	3938,28	62,756
14	W_7	420,891	20,516	504,82	22,468	3192,38	56,501	3938,28	62,756
15	W_8	5,169	2,273	39,023	6,247	1886,17	43,430	4436,01	66,603
16	W_8	5,189	2,278	14,424	3,798	1992,00	44,632	4171,83	64,590
17	W_9	8,076	2,842	32,489	5,700	1131,62	33,640	85,869	9,267
18	W_9	5,041	2,245	65,664	8,103	1133,22	33,663	85,871	9,267

Joint	W_i	Model 1				Model 2			
		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)	
		$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)
19	W_{10}	8,144	2,854	108,27	10,405	1142,60	33,802	52,063	7,215
20	W_{10}	5,205	2,281	43,689	6,610	1144,78	33,835	52,931	7,275
21	W_{11}	-	-	-	-	24,564	4,956	52,069	7,216
22	W_{11}	-	-	-	-	24,530	4,953	52,919	7,275
23	W_{12}	-	-	-	-	16,951	4,117	61,545	7,845
24	W_{12}	-	-	-	-	15,895	3,987	59,976	7,744
25	W_{13}	-	-	-	-	16,963	4,119	61,551	7,845
26	W_{13}	-	-	-	-	15,894	3,987	59,976	7,744
27	W_{14}	-	-	-	-	25,531	5,053	3938,04	62,754
28	W_{14}	-	-	-	-	23,779	4,876	3938,04	62,754
29	W_{15}	-	-	-	-	25,531	5,053	3846,22	62,018
30	W_{15}	-	-	-	-	23,78	4,876	3845,62	62,013

Tabel 7 Definisi beban gempa pada model 1 dan model 2 di Tarutung menggunakan profil pada standar BS 5950-1: 2000

Joint	W_i	Model 1				Model 2			
		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)	
		$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)
1	W_1	55,007	7,417	271,408	16,474	165,814	12,877	436,74	20,898
2	W_1	54,428	7,378	93,774	9,684	165,809	12,877	436,74	20,898
3	W_2	2956,67	54,375	9286,89	96,368	7399,975	86,023	23433,60	153,08
4	W_2	2911,80	53,961	3353,57	57,910	7396,319	86,002	21473,01	146,54
5	W_3	1705,38	41,296	9938,68	99,693	7190,985	84,800	21230,40	145,71
6	W_3	1845,65	42,961	3396,20	58,277	7178,251	84,725	21230,40	145,71
7	W_4	3257,65	57,076	9720,55	98,593	12550,55	112,03	21311,10	145,98
8	W_4	3260,42	57,100	3651,75	60,430	12540,56	111,99	21307,25	145,97
9	W_5	3344,93	57,835	9645,34	98,211	20259,07	142,33	22606,51	150,36
10	W_5	3343,24	57,821	3642,32	60,352	20269,47	142,37	22606,51	150,36

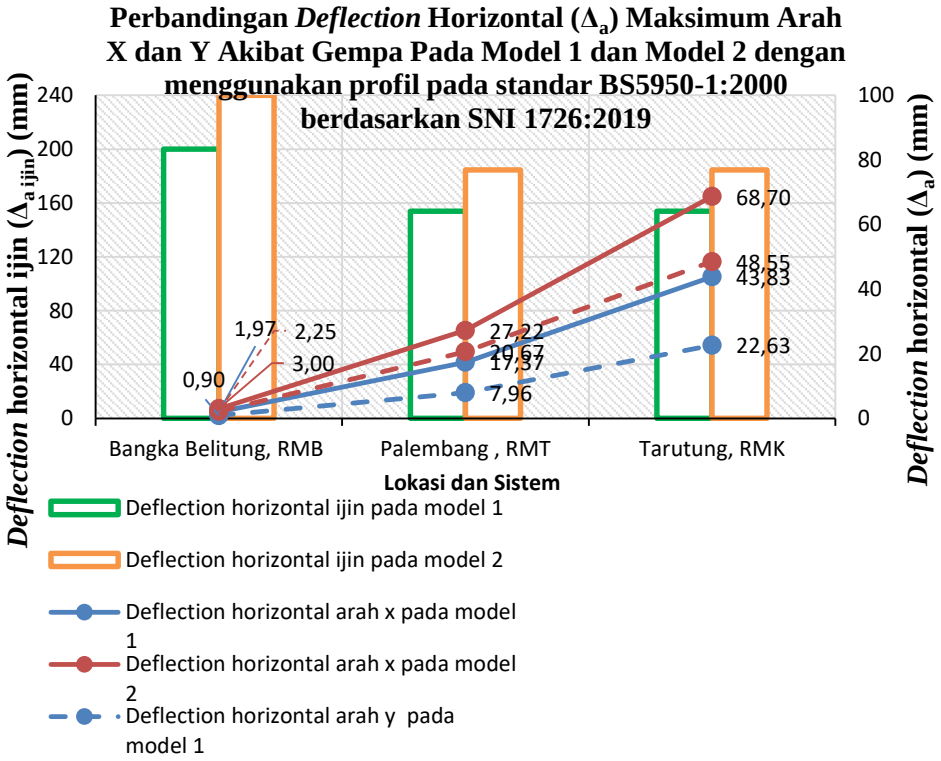
Joint	W_i	Model 1				Model 2			
		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)		Gempa sumbu y (E_x)		Gempa sumbu x (E_y)	
		$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)	$\sum F^2$ (kN^2)	F(kN)
11	W_6	1724,21	41,524	9269,99	96,281	22806,22	151,02	23857,48	154,46
12	W_6	1750,47	41,839	3363,40	57,995	22806,49	151,02	23857,48	154,46
13	W_7	2277,45	47,723	8512,57	92,264	20327,72	142,58	22605,77	150,35
14	W_7	2678,62	51,755	3212,75	56,681	20316,78	142,54	22605,77	150,35
15	W_8	32,894	5,735	248,349	15,759	12003,90	109,56	21296,29	145,93
16	W_8	33,022	5,747	91,795	9,581	12677,40	112,59	22497,37	149,99
17	W_9	51,398	7,169	206,763	14,379	7201,80	84,863	21231,95	145,71
18	W_9	32,079	5,664	417,899	20,443	7211,95	84,923	21231,95	145,71
19	W_{10}	51,827	7,199	689,050	26,250	7271,67	85,274	23424,37	153,05
20	W_{10}	33,124	5,755	278,045	16,675	7285,57	85,356	21464,48	146,51
21	W_{11}	-	-	-	-	156,328	12,503	436,592	20,895
22	W_{11}	-	-	-	-	156,115	12,495	436,606	20,895
23	W_{12}	-	-	-	-	107,880	10,387	289,275	17,008
24	W_{12}	-	-	-	-	101,160	10,058	280,142	16,737
25	W_{13}	-	-	-	-	107,953	10,390	289,317	17,009
26	W_{13}	-	-	-	-	101,154	10,058	280,066	16,735
27	W_{14}	-	-	-	-	162,486	12,747	391,634	19,790
28	W_{14}	-	-	-	-	151,333	12,302	372,404	19,298
29	W_{15}	-	-	-	-	162,484	12,747	391,672	19,791
30	W_{15}	-	-	-	-	151,331	12,302	372,405	19,298

Berdasarkan SNI 1726:2019, bahwasannya *portal frame* yang direncanakan masuk kedalam kategori resiko II, maka syarat yang harus dipenuhi untuk pengecekan *deflection* (Δ_a) horizontal ijin tidak boleh lebih dari 0,02 h_s untuk kondisi seismik B, dan 0,02 h_s / ρ untuk kondisi seismik D dan E [13].

Syarat *deflection* horizontal,
Model 1 : $\Delta_{a\ ijin}$ = 0,02 h_s = 200 mm > Δ_x
Model 2 : $\Delta_{a\ ijin}$ = 0,02 h_s = 240 mm > Δ_x

Untuk kondisi seismik D dan E sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.12.1.1,
Model 1 : $\Delta_{a\ ijin}$ = 0,02 h_s / ρ = 153,846 mm > Δ_x
Model 2 : $\Delta_{a\ ijin}$ = 0,02 h_s / ρ = 184,615 mm > Δ_x

Gambar 8 menunjukkan bahwa penggunaan profil pada *British Standard* masih memenuhi persyaratan izin *deflection* horizontal. Kondisi sistem rangka momen biasa, menengah, dan khusus berturut-turut mengalami peningkatan karena beban gempa yang semakin tinggi.



Gambar 8 Perbandingan *deflection* horizontal (Δ_a) maksimum arah x dan y akibat beban gempa pada model 1 dan model 2 dengan menggunakan profil pada Standar BS 5950-1:2000 berdasarkan SNI 1726:2019

4. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perilaku struktur *portal frame* yang ada pada *British Standard* jika memperhitungkan gempa di Indonesia pada tiga Lokasi di Pulau Sumatera dengan kategori desain seismik berbeda, yaitu Bangka Belitung (RMB), Palembang (RMT), dan Tarutung (RMK), berdasarkan peraturan terbaru SNI 1726:2019. Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil analisis adalah sebagai berikut:

a. Mode getar hasil analisis menunjukkan bahwa mode 1 dan mode 2 dominan translasi, yaitu ke arah X dan Y, sedangkan mode 3 menunjukkan rotasi. Pada model 1, rasio modal partisipasi massa mencapai hampir 100% ada pada mode 20 dengan perioda bangunan 0,053 s. Sedangkan pada model 2, mencapai hampir 100% ada pada mode 25, di mana memiliki periode bangunan 0,054 s.
b. Nilai *deflection* horizontal pada penampang struktur berdasarkan *British Standard* yaitu BS 5950-1:2000 dengan bentang 15 meter dan 40 meter yang ada pada Tabel A.1 dimana ukuran penampang tersebut dianalisis dengan mengacu pada standar SNI 1726:2019 dengan menggunakan analisis modal dan peta gempa Indonesia 2021 masih memenuhi persyaratan ijin pada kondisi gempa ringan, sedang maupun tinggi.
c. Terdapat kecenderungan bahwa semakin tinggi beban gempa, maka *deflection* horizontal semakin meningkat. Nilai *deflection* horizontal terbesar terjadi pada sistem RMK di daerah Tarutung yaitu sebesar 43,828 mm pada model 1 dan 68,703 mm pada model 2.
d. Secara keseluruhan, struktur *portal frame* dengan kondisi sistem rangka pemikul momen menggunakan profil berdasarkan BS 5950-1:2000 telah memenuhi ketentuan seismik sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2019, sehingga dapat diterapkan di Indonesia dengan penyesuaian analisis terhadap kondisi seismik.

5. SARAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan bebarapa hal yaitu sebagai berikut:

a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap semua bentang yang ada pada *British Standard* yaitu BS 5950-1:2000, sehingga Indonesia memiliki acuan tersendiri mengenai *portal frame* berdasarkan peraturan-peraturan yang ada di Indonesia termasuk didalamnya adalah SNI 1726:2019 dan SNI 1729:2020.
b. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi kapasitas *stress ratio* pada setiap elemen struktur, sehingga dapat dipastikan bahwa desain yang dihasilkan benar-benar kuat, efisien, dan memenuhi syarat keamanan sesuai dengan standar yang berlaku.
c. Perlu dilakukan uji laboratorium terhadap penampang profil yang digunakan, sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat sebagai pembanding dari hasil analisis menggunakan s*oftware*.
d. Penelitian ini dapat diperluas lagi dengan menggunakan *software* berbasis analisis struktur lainnya seperti *SAP2000, Staad Pro*, dan *software* pendukung lainnya.
e. Penelitian dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menganalisis struktur bawah, seperti analisis pondasi.
f. Perlu dilakukan kolaborasi multidisiplin dalam penelitian lanjutan yang melibatkan bidang struktur, geoteknik, dan pemetaan seismik. Pendekatan ini akan memperkaya hasil penelitian dan mendukung pengembangan desain struktur yang lebih andal terhadap kondisi gempa di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Redaksi Jurnal Teknika Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberi kesempatan, sehingga artikel ilmiah ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Solari, G., 2019, Wind Science and Engineering: Origins, Developments, Fundamentals and Advancements, Vol. 1, Ed.1, Springer, Cham, Switzerland.

[2] Salter, P. R., Malik, A. S., King, C. M., 2004, Design of Single-S pan Steel Portal Frames to BS 5950-1:2000, Vol. 1, Ed.1, CSI PUBLICATION P252, Inggris.

[3] ALTRON The Pinnacle of Camera Mounting, 2022, Wind Loading Data, ALTRON The Pinnacle of Camera Mounting, https://www.altron.co.uk/wind_loading_data.html., diakses tanggal 17 Mei 2025.

[4] Hao, J., 2016, Analysis of Dynamic Characteristics of Portal Frame with Variable Section, MATEC Web of Conferences, vol. 67, hal. 4–7

[5] Haydar, H., Far, H., dan Saleh, A., 2018, Portal steel trusses vs portal steel frames for - long-span industrial buildings, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. Steel Construction, vol. 11, no. 3, hal. 205–217.

[6] Siraj, M., 2012, Modal Analysis of Plane Frames, International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), vol. 1, no. 7.

[7] Hamza, M., Akhtar, K., dan Khan, M. A., 2024, Modal and Dynamic Analysis of Damaged Steel Column-Beam Frame Structure Subjected to Seismic Vibrations, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 46, no. 94.

[8] Liang, H., Liu, W., & Cheng, W., 2013, Dynamic analysis on the light-weight portal frame with different slopes, Trans Tech Publications Ltd, vols. 405–404, hal. 775–780.

[9] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), 2024, Data Statistik Gempabumi

Tahun 2023, https://www.bmkg.go.id, diakses tanggal 18 Juni 2025

[10] BSN (Badan Standarisasi Nasional), 2020, SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, BSN, Jakarta.

[11] BSN (Badan Standarisasi Nasional), 2017, SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton, BSN, Jakarta.

[12] BSN (Badan Standarisasi Nasional), 2019, SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, BSN, Jakarta.

[13] Ditjen Cipta Karya, Kementerian PUPR, 2021, Desain Spektra Indonesia, http://rsa.ciptakarya.pu.go.id, diakses tanggal 24 Maret 2025.

[14] Natawidjaja, D.H., 2018, Major bifurcations, slip rates, and a creeping segment of Sumatran Fault Zone in Tarutung–Sarulla–Sipirok–Padangsidempuan, Central Sumatra, Indonesia, International Journal on Geoscience, vol. 5, no. 2, hal. 137–160.

[15] Tarigan, J., 2011, Gaya Gempa Berdasarkan Pseudo Percepatan, Kecepatan dan Perpindahan, SEMINAR NASIONAL-1 BMPTTSSI–KoNTekS 5, Universitas Sumatera Utara, Medan, 14 Oktober 2011, hal. G73–G80.