



ANALISIS STRUKTUR BAJA PADA BANGUNAN INDUSTRIAL ESTER PADA PROYEK NEWLAND OLEOCHEMICAL DENGAN MENGUNAKAN APLIKASI ETABS

Analysis of Steel Structures in Industrial Buildings at the Newland Oleochemical Project Using ETABS Software

Muhammad Ammar Dzikra^{1*}**Muammar Zacky Nasution²****Mizanuiddin Sitompul³**¹⁻³ Politeknik Negeri Medan,
Sumatera Utara

*email:

muhammadammardzikra@gmail.com**Abstrak**

Perkembangan industri oleokimia di Indonesia mendorong kebutuhan akan bangunan industri yang memiliki struktur kuat, efisien, dan sesuai dengan standar perencanaan teknik sipil. Penelitian ini membahas analisis struktur baja pada bangunan Industrial Ester yang merupakan bagian dari Proyek *Emerald Newland Oleochemical*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja struktur baja terhadap beban yang bekerja, serta memastikan bahwa desain memenuhi ketentuan dalam SNI (Standar Nasional Indonesia) dan standar internasional yang relevan, seperti AISC dan ASCE. Pendekatan analisis dilakukan dengan mengumpulkan data teknis dari proyek, memodelkan struktur menggunakan perangkat lunak bantu analisis struktur (ETABS), serta melakukan pengecekan elemen-elemen utama bangunan termasuk balok, dan kolom. Evaluasi dilakukan terhadap aspek kekuatan, dan simpangan elemen struktur. Hasil dari kajian menunjukkan bahwa desain struktur baja yang diterapkan mampu menahan beban kerja dengan baik, dan berada dalam batas aman yang ditetapkan oleh standar perencanaan. Semua elemen utama menunjukkan performa struktural yang memadai, sehingga bangunan dinyatakan layak secara teknis untuk mendukung operasional fasilitas industri yang dirancang.

Kata Kunci:Struktur Baja
Bangunan Industri
Analisis Beban
Desain Struktural**Keywords:**Steel Structures
Industrial Buildings
Load Analysis
Structural Design**Abstract**

The development of the oleochemical industry in Indonesia has driven the need for industrial buildings with strong, efficient structures that comply with civil engineering planning standards. This study discusses the analysis of steel structures in the Ester Industrial building, which is part of the Emerald Newland Oleochemical Project. The purpose of this study is to evaluate the performance of steel structures under working loads and to ensure that the design complies with the provisions of SNI (Indonesia National Standards) and relevant international standards, such as AISC and ASCE. The analysis approach was carried out by collecting technical data from the project, modeling the structure using structural analysis software (ETABS), and checking the main elements of the building, including beams and columns. The evaluation was carried out on the strength and deflection of structural elements. The results of the study show that the steel structure design applied was able to withstand working loads well and was within the safety limits set by planning standards. All main elements showed adequate structural performance, so that the building was declared technically feasible to support the operation of the designed industrial facility.

Submit Tgl.: 17-Desember-2025

Diterima Tgl.: 18-Desember-2025

Diterbitkan Tgl.: 19-Desember-2025

Cara mengutip Dzikra, M. A., Nasution, M. Z., & Sitompul, M. (2025). Analisis Struktur Baja pada Bangunan Industrial Ester pada Proyek Newland Oleochemical dengan Menggunakan Aplikasi ETABS. *Jurnal Informatika, Multimedia Dan Teknik*, 2(1), 71–86. <https://doi.org/10.71456/jimt.v2i1.1574>

PENDAHULUAN

Perkembangan sektor industri, khususnya industri oleokimia, di Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan pertumbuhan kebutuhan bahan

baku kimia dan produk turunannya. Kondisi ini mendorong pembangunan berbagai fasilitas industri berskala besar yang membutuhkan bangunan dengan kapasitas struktur tinggi, ruang bebas kolom yang luas,



serta kemampuan menahan beban peralatan produksi yang besar dan beragam. Bangunan industri ester sebagai bagian dari fasilitas oleokimia memiliki karakteristik khusus, antara lain ketinggian bangunan yang relatif besar, beban mati tambahan dari peralatan proses, serta tuntutan keselamatan struktur yang tinggi terhadap pengaruh beban gempa dan beban angin.

Struktur baja banyak digunakan pada bangunan industri karena memiliki keunggulan berupa kekuatan tarik dan tekan yang tinggi, daktilitas yang baik, serta efisiensi material dibandingkan dengan material konstruksi lainnya. Selain itu, struktur baja memungkinkan proses fabrikasi dilakukan di pabrik sehingga kualitas elemen struktur dapat lebih terkontrol dan waktu pelaksanaan di lapangan menjadi lebih singkat. Namun demikian, keunggulan tersebut harus diimbangi dengan perencanaan dan analisis struktur yang tepat agar elemen baja mampu bekerja secara optimal dan aman selama masa layan bangunan.

Perencanaan struktur baja pada bangunan industri harus mempertimbangkan berbagai jenis pembebanan yang bekerja, meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, serta beban gempa. Beban mati tidak hanya berasal dari berat sendiri struktur, tetapi juga dari peralatan proses yang terpasang secara permanen. Beban hidup berkaitan dengan aktivitas operasional dan perawatan bangunan, sedangkan beban angin dan beban gempa merupakan beban lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap stabilitas dan kinerja struktur. Oleh karena itu, analisis pembebanan harus mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia, yaitu SNI 1727:2020 untuk beban minimum, SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, serta SNI 1729:2020 untuk perencanaan struktur baja.

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang teknik sipil, penggunaan perangkat lunak analisis struktur menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam proses perencanaan dan evaluasi struktur bangunan. ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) merupakan salah satu perangkat lunak

yang banyak digunakan untuk menganalisis struktur bangunan bertingkat dan bangunan industri. Perangkat lunak ini mampu memodelkan struktur tiga dimensi secara detail serta menganalisis respons struktur terhadap berbagai kombinasi pembebanan sesuai dengan standar perencanaan yang diterapkan. Dengan menggunakan ETABS, perencana dapat mengevaluasi kekuatan, stabilitas, dan simpangan elemen struktur secara lebih efisien dan akurat.

Penelitian ini membahas analisis struktur baja pada bangunan Industrial Ester yang merupakan bagian dari Proyek Newland Oleochemical. Analisis dilakukan dengan memodelkan struktur baja bangunan menggunakan ETABS, kemudian mengevaluasi kinerja elemen struktur utama berupa balok dan kolom terhadap pembebanan yang bekerja. Hasil analisis dibandingkan dengan persyaratan yang ditetapkan dalam standar perencanaan untuk memastikan bahwa struktur berada dalam kondisi aman dan layak secara teknis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian analisis struktur baja pada bangunan industri, serta menjadi referensi bagi perencana dan praktisi teknik sipil dalam merancang bangunan industri yang aman, efisien, dan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

METODE PENELITIAN

Tujuan dari metode penelitian ini adalah untuk memberikan pendekatan sistematis dalam menganalisis dan mengevaluasi kinerja struktur baja pada bangunan Industrial Ester yang merupakan bagian dari Proyek Emerald Newland Oleochemical. Melalui metode ini, diharapkan diperoleh hasil analisis yang akurat dan dapat dipertanggung jawabkan secara teknis.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi langsung di lapangan untuk mengamati proses Erection, serta wawancara dengan pihak kontraktor dan pekerja pembesian. Adapun data diperoleh dari gambar rencana struktur (shop drawing) untuk menganalisis struktur baja pada proyek tersebut. Tahapan pengumpulan data

pada penyusunan Penelitian ini dilakukan dengan teknik kepustakaan untuk kajian teori dan juga dengan mengumpulkan data perencanaan sebagai bahan perhitungan yaitu dengan cara:

1. Mendatangi pihak yang terkait dengan proyek yang datanya akan digunakan untuk Penelitian dengan membawa surat dari Perguruan Tinggi untuk mendapatkan data perencanaan yang akurat yaitu dari PT SOCI MAS.

2. Mencari informasi melalui website milik instansi terkait untuk mencari dan melengkapi data-data umum yang mendukung dalam penulisan Penelitian ini.

Secara umum terdapat dua jenis data yang digunakan dalam penelitian, yaitu data primer dan data sekunder. Kedua data ini digabungkan untuk saling melengkapi dan membantu peneliti dalam mengamati setiap fenomena yang ada. Data primer adalah serangkaian informasi yang diperoleh secara langsung untuk memperoleh data lapangan. Sedangkan data sekunder adalah berbagai informasi yang telah ada sebelumnya dan digunakan peneliti untuk melengkapi kebutuhan data peneliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

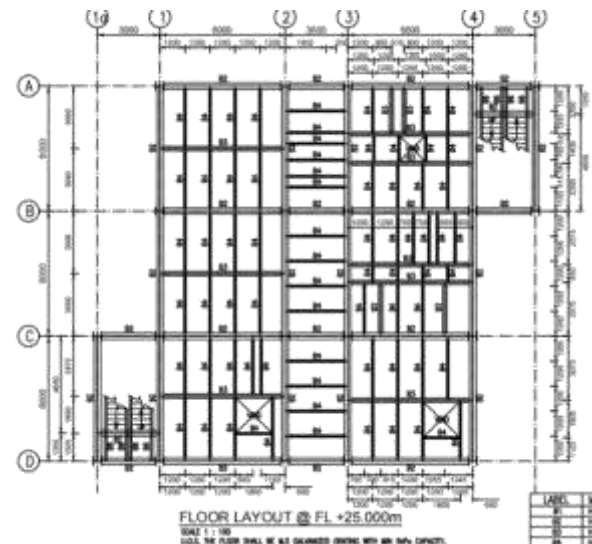
Perhitungan Pembebanan Pada Software Etabs

Informasi yang ditampilkan berupa bentuk Shop Drawing berupa denah, tampak samping, Elevasi bangunan, perletakan equipment, jenis jenis baja yang digunakan, dan kode nama dari equipment tersebut. dari baja yang digunakan dengan panjang dan modifikasi pabrik yang dibutuhkan. Biasanya pada bentuk baja terdapat shop drawing gambar baja tersebut yang diinginkan untuk mempermudah pekerjaan. Selain itu juga terdapat informasi bentuk potongan dari bangunan tersebut. Berikut Tabel 4.1 merupakan jenis baja yang digunakan:

Tabel 1 Jenis Baja yang Digunakan

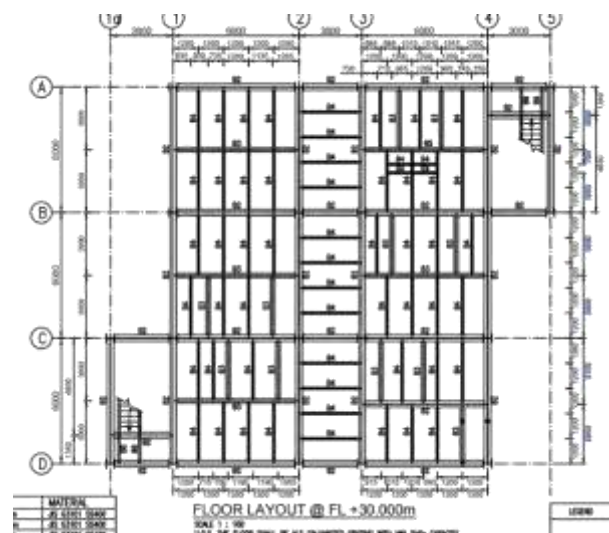
No.	Items	Utilized Ratio	Compliances
1	H 350x175X7x11x49,4 kg/m	0,42	Comply With EN1993
2	H 500x300x11x15x111 kg/m	0,74	Comply With EN1994
3	H 300x200x8x12x55,8 kg/m	0,63	Comply With EN1995
4	H 200x100x5,5x8x20,9 kg/m	0,75	Comply With EN1996
5	H 400x200x8x13x65,4 kg/m	0,85	Comply With EN1997
6	C 380x100x10,5x16x54,5 kg/m	0,84	Comply With EN1998

(Sumber: Project RC Structure Design)



Gambar 1 Floor Layout +25.000m

(Sumber: Shop Drawing Project)



Gambar 2 Floor Layout +30.000m

(Sumber: Shop Drawing Project)

Dalam perhitungan pembebanan stuktur baja, perlu diperhatikan terkait ketentuan-ketentuan teknis yang berlaku, seperti pembebanan Berikut terkait

pembebanan pada sturktur bangunan ini sesuai dengan standar:

Tabel 2 Tabel Persyaratan Pembebanan

No.	Keterangan	Beban
1	Berat Sendiri	Berdasarkan dimensi dan Kepadatan Material Beton Bertulang = 25,0 kN/m ³
2	Beban Mati	Berat Sendiri Peralatan Sesuai Spesifikasi Kisi MS + 0,5 kN/m ² Plat Kotak Tebal 6 mm = 0,5 kN/m ²
3	Beban Hidup	0,25 kN/m ² - <i>Pitch Roof</i> 5 kN/m ² - <i>IE Plant</i>
4	Beban Angin	Vs = 40,0 m/s
5	Beban Gempa di SNI 1726:2019	Site Class E, PGA MCEG = 0,2954g, SS MCEr = 0,6342g, Si MCEr = 0,3501g, TL = 20s, Fa = 1,4853, Fv = 1,9499, TP = 0,19s, Ts = 0,97s, Sds = 0,63g, SdI = 0,61g

(Sumber: Project RC Structure Design)

Perhitungan Pembebanan Beban Mati (DL)

Dalam analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS, beban mati (*dead load*) merujuk pada berat semua komponen permanen suatu bangunan yang tidak berubah posisi atau nilainya sepanjang umur struktur. Beban ini merupakan faktor krusial dalam perancangan struktur karena selalu ada dan memberikan gaya vertikal ke bawah pada elemen-elemen struktur. Beban mati umumnya terdiri dari Berat sendiri struktur (*Self-Weight*). Ini adalah beban paling dasar dan otomatis diperhitungkan oleh ETABS berdasarkan dimensi dan material definisikan untuk elemen-elemen struktur seperti balok, dan kolom. Memasukkan nilai ini secara manual cukup definisikan material (dengan berat jenis yang benar) dan dimensi penampang pada bagian *Self Weight Multiplier* dengan Koefisien yang dihasilkan ialah 1.0.

Tabel 3 Dimensi Ukuran Profil Baja yang Digunakan

No	Kode	Profil	Berat per Meter (kg/m)
1	B1	H 350x175x7x11	49,4
2	B2	H 500x 300x11x15	111
3	B3	H 300x200x8x12	55,8
4	B4	H 200x100x5,5x8	20,9
5	B5	H 400x200x8x13	65,4
6	B6	C 380x100x10,5x16	54,5
7	B7	H 500x300x11x18	125

8.	C1	H 400x400x18x28	232
----	----	-----------------	-----

(Sumber: Etabs Structure)

Perhitungan Pembebanan Beban Hidup (LL)

Berdasarkan data yang telah didapatkan, koefisien dari beban hidup adalah *Pitch Roof* (atap) = 0,25 kN/m² dengan luasan atap 368,14 m². Dilanjutkan dengan perhitungan pembebanan beban hidup yang digunakan pada proyek. Berikut adalah rincian perhitungan beban mati :

$$= \text{Pitch Roof} \times \text{Luasan Atap}$$

$$= 0,25 \text{ kN/m}^2 \times 368,14 \text{ m}^2$$

$$= 92,035 \text{ kN}$$

Untuk beban hidup yang bekerja pada setiap lantai sebesar 5 kN/m². Berikut perhitungan *IE plant* pada setiap lantai:

$$LL = \text{IE Plant} \times \text{Luasan Lantai}$$

$$LL = 5 \times (18 \times 16)$$

$$LL = 1440 \text{ kN}$$

Perhitungan Pembebanan Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan yang dimaksud adalah berat *equipment* pada bangunan tersebut. Berdasarkan data gambar *shop drawing* yang telah didapatkan, maka dilanjutkan dengan perhitungan pembebanan beban mati tambahan yang digunakan pada proyek. Beban mati tambahan pada aplikasi dibuat dengan perletakan menjadi terpusat dan merata. Berikut adalah rincian perhitungan beban Mati Tambahan:

Tabel 4 Berat Equipment Elevasi + 06.50 m

No	Tag No.	Keterangan	Berat (ton)
1	C-552	Bleacher	3,5
2	D-561	Rectification Vapour Receiver	2,2
3	E-552	Reactor Receiver Plate Heat Exchanger (For Line	1,5
4	D-571	Rectification Vapour Receiver	2,2
5	F-551	Horizontal Pressure Leaf Filter	2,6
6	P-554	Reactor Receiver Discharge Pump	0,6
7	T-554	Filter Buffer Tank	1,2
8	T-555	Filter Leaf Cleaning Tank	1,5
9	SS-01	Silencer	0,6

(Sumber: Etabs Structure)

Keterangan (Tabel 4) di atas sebagai berikut :

Beban mati tambahan = Total berat *equipment*

Beban mati tambahan = C-552 + D-561 + E-552 + D-571 + F-551 + P-554 +

$$\begin{aligned} & T-554 + T-555 + SS-01 \\ & = 3,50 + 2,20 + 1,50 + 2,20 \\ & + 2,60 + 0,60 + 1,20 + 1,50 + \\ & 0,60 \\ & = 15,9 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Tabel 5 Berat Equipment Elevasi + 13.00 m - 19.00 m

No	Tag No.	Keterangan	Berat (ton)
1	C-551	Reactor	3,5
2	C-561	Deodorisation Column with Demister	4,2
3	C-571	Alcohol Rectification Column	3,8
4	D-551A	Reactor Receiver 1	1,2
5	D-551B	Reactor Receiver 2	1,2
6	D-553	Condensate Pot	0,7
7	D-562	Column Receiver	1
8	D-554	Reactor Hotwell Tank	1,5
9	D-563	Deodorizer Hotwell Tank	1,6
10	E-562	Pre-Heater before Ester Enter Column	1,2
11	E-573	Reboiler	1,8
12	F-552	Horizontal Plate Polishing Filter	0,9
13	T-558D	Caustic Soda Measuring Tank	0,8
14	VP-552	Bleacher Vacuum Ring Pump	1

(Sumber: *Etabs Structure*)

Keterangan di atas sebagai berikut :

Beban mati tambahan = Total berat *equipment*

Beban mati tambahan = C-551 + C-561 + C-571 + D-551A + D-551B + D-553 +

$$\begin{aligned} & D-562 + D-554 + D-563 \\ & + E-562 + E-573 + F-552 + \\ & T-558D + VP-552 \\ & = 3,50 + 4,20 + 3,80 + 1,20 \\ & + 1,20 + 0,70 + 1,00 + 1,50 \\ & + 1,60 + 1,20 + 1,80 + \\ & 0,90 + 0,80 + 1,00 \\ & = 24,4 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Tabel 6 Berat Equipment Elevasi + 25.00 m - 30.00 m

No	Tag No	Keterangan	Berat (ton)
1	C-561	Deodorisation Column with Demister	10
2	C-571	Alcohol Rectification Column	10
3	D-552	Decanter	5
4	E-551	Reactor Primary Condenser	6
5	E-553	Vacuum Condenser for Reactor	5
6	E-555	Bleacher Vacuum Condenser	5
7	E-563	Column Vapour Condenser	7
8	E-564	Vacuum Condenser	5
9	E-572	Rectification Column Vapour Condenser	6
10	EJ-551	Reactor Vacuum System Stage 1 Steam Ejector	0,4
11	EJ-552	Reactor Vacuum System Stage 2 Steam Ejector	0,4
12	EJ-553	Bleacher Vacuum System Steam Ejector	0,4
13	EJ-561	Column Primary Vacuum System Steam Ejector	0,5
14	EJ-562	Column Secondary Vacuum System Steam Ejector	0,5
15	P-553	Primary Condenser Inline Water Pump	1
16	T-552	Reactor Catch Pot	1,2
17	T-558C	Caustic Soda Preparation Tank	2,3
18	T-558F	Acid Catalyst Tank	1,5
19	VP-551	Reactor Vacuum Ring Pump	2,5
20	VP-562	Column Vacuum Pump	2,5

(Sumber: *Etabs Structure*)

Keterangan di atas sebagai berikut :

Beban mati tambahan = Total berat *equipment*

Beban mati tambahan = C-561 + C-571 + D-552 + E-551 + E-553 + E-555 + E-

$$\begin{aligned} & 563 + E-564 + E-572 + EJ- \\ & 551 + EJ-552 + EJ-553 + EJ- \\ & 561 + EJ-562 + P-553 + T- \\ & 552 + T-558C + T-558F + VP- \\ & 551 + VP-562 \\ & = 10 + 10 + 5 + 6 + 5 + 5 + \\ & 7 + 5 + 6 + 0,4 + 0,4 + 0,4 + 0,5 \\ & + 0,5 + 1 + 1,2 + 2,3 + 1,5 \\ & + 2,5 + 2,5 \\ & = 72,2 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Jadi, total beban mati tambahan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Total beban mati tambahan} &= (\text{elevasi} + 06,50 \text{ m}) + \\
 &(\text{elevasi} + 13.00 \text{ m} - 19.00 \text{ m}) \\
 &\quad + (\text{elevasi} + 25.00 \\
 &\quad \text{m} - 30.00 \text{ m}) \\
 &= 15,9 \text{ Ton} + 24,4 \text{ Ton} \\
 &\quad + 72,2 \text{ Ton} \\
 &= 112,5 \text{ Ton.}
 \end{aligned}$$

Dalam proyek pembangunan struktur baja ini, beban mati tambahan yang berasal dari *equipment* utama, dihitung berdasarkan berat masing-masing *equipment*. Total beban mati tambahan yang berasal dari seluruh *equipment* adalah sebesar $\pm 112,5$ Ton yang menjadi salah satu komponen utama dalam analisis pembebanan struktur.

Perhitungan Pembebanan Beban Angin (WL)

Perencanaan struktur bangunan ini memperhitungkan pengaruh beban angin sesuai dengan persyaratan yang diatur dalam SNI 1727:2020 – Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Standar ini mengadopsi sebagian besar ketentuan dari ASCE 7-16 (*Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*) yang merupakan referensi utama dalam perencanaan beban struktur. Beban angin adalah beban dinamis yang bekerja pada permukaan bangunan akibat tekanan dan hisapan angin. Besarnya tekanan atau hisapan ini sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin rencana, topografi lokasi, kategori eksposur permukaan tanah, serta bentuk dan kekakuan struktur bangunan.

Langkah pertama adalah menentukan parameter-parameter dasar angin untuk lokasi proyek *industrial ester newland oleochemical*:

Tabel 7 Langkah-langkah untuk Menentukan beban Angin

Tabel 27.2-1 - Langkah-langkah untuk menentukan beban angin SPGAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian, dan terbuka dari semua ketinggian	
Langkah 1:	Tentukan Kategori Risiko bangunan gedung; lihat Tabel 1.5-1
Langkah 2:	Tentukan kecepatan angin dasar, V , untuk kategori risiko yang sesuai yang berlaku; lihat Buku Peta Angin Indonesia.
Langkah 3:	Tentukan parameter beban angin: - Faktor arah angin, K_d; lihat Pasal 26.6 dan Tabel 26.6-1. - Kategori eksposur; lihat Pasal 26.7. - Faktor topografi, K_{zt}; lihat Pasal 26.8 dan Tabel 26.8-1. - Faktor elevasi permukaan tanah, K_e; lihat Pasal 26.9 - Klasifikasi ketertutupan; lihat Pasal 26.12 - Faktor elevasi permukaan tanah, K_e; lihat Pasal 26.9 - Koefisien tekanan internal, (GCp_i); lihat Pasal 26.13 dan Tabel 26.13-1
Langkah 4:	Tentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h ; lihat Tabel 26.10.1
Langkah 5:	Tentukan tekanan velositas q_z , atau q_h Persamaan (26.10-1)
Langkah 6:	Tentukan koefisien tekanan eksternal, C_p atau C_{pe} - Gambar 27.3.1 untuk dinding dan atap rata, pelana, perisai, miring sepihak atau mansard - Gambar 27.3.2 untuk atap kubah - Gambar 27.3.3 untuk atap lengkung - Gambar 27.3.4 untuk atap miring sepihak, bangunan gedung terbuka - Gambar 27.3.5 untuk atap berbubung, bangunan gedung terbuka - Gambar 27.3.6 untuk atap cekung, bangunan gedung terbuka - Gambar 27.3.6 untuk atap cekung, bangunan gedung terbuka - Gambar 27.3.7 untuk beban angin sepanjang bubungan kasus untuk atap miring sepihak, berbubung, atau cekung, bangunan gedung terbuka
Langkah 7:	Hitung tekanan angin, p , pada setiap permukaan bangunan gedung - Persamaan (27.3-1) untuk bangunan gedung kaku dan fleksibel - Persamaan (27.3-2) untuk bangunan gedung terbuka

(Sumber: SNI 1727:2020)

I. Data dan Parameter Desain Beban Angin:

Berdasarkan lokasi proyek di KIM I Mabar, parameter desain beban angin yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Kecepatan Angin Dasar (V): nilai kecepatan angin dasar, 40 m/s atau 85 mph yang diperoleh dari peta kecepatan angin dasar sesuai SNI 1727:2020 untuk lokasi tersebut.
- Kategori Eksposur: Kategori C. Kategori ini ditentukan berdasarkan kekasaran permukaan tanah di sekitar lokasi bangunan, yang mempengaruhi profil kecepatan angin seiring ketinggian.
- Kategori C (Dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 9,1 m).
- Aktor Topografi (K_{zt}) adalah 1.0. Faktor ini memperhitungkan peningkatan kecepatan angin pada daerah berbukit atau lereng curam. Karena lokasi proyek diasumsikan datar/tidak memiliki fitur topografi signifikan, maka (K_{zt}) diambil 1.0.

26.8.2 Faktor topografi

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

(26.8-1)

dengan K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam Gambar 26.8-1.

Jika kondisi situs dan lokasi bangunan gedung dan struktur lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, maka $K_{zt} = 1,0$.

Gambar 3 Faktor Topografi

(Sumber: SNI 1727:2020)

- e. Faktor Arah Angin (K_d) adalah 0.85. Faktor ini memperhitungkan probabilitas pengurangan kecepatan angin maksimum yang terjadi pada arah tertentu. Untuk struktur utama, (K_d) umumnya diambil 0.85.

Tabel 8 Faktor Arah Angin

Tabel 26.6-I – Faktor arah angin, K_d	
Tipe Struktur	Faktor arah angin, K_d
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap Lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1
Cerobong, tangki. Dan struktur serupa	
Persegi	0,9
Segi Enam	0,95
Segi Delapan	1
Bundar	1
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

(Sumber: SNI 1727:2020)

- f. Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e) adalah 1.0. Faktor ini memperhitungkan pengurangan kerapatan udara pada ketinggian di atas permukaan laut. Untuk lokasi proyek di KIM I Mabar (K_e) diambil 1.0.
- g. Faktor Hembusan Angin (G) adalah 0,85.

26.11.1 Faktor efek hembusan angin

Faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85

Gambar 4 Hembusan Arah Angin

(Sumber SNI 1727:2020)

Tabel 9 Faktor Elevasi Permukaan Tanah

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

(Sumber: SNI 1727:2020)

2. Tekanan Kecepatan Angin (Velocity Pressure): Tekanan kecepatan angin dihitung menggunakan persamaan:

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

(N/m²)

- a. Tekanan Kecepatan pada Ketinggian Rata-rata
- Atap (q_h): adalah tekanan kecepatan angin yang dievaluasi pada ketinggian rata-rata atap (h). Untuk bangunan ini, ketinggian rata-rata atap dihitung sebesar $h = 36,65$ m Nilai (q_h) ini kemudian digunakan sebagai tekanan acuan untuk menghitung beban pada seluruh permukaan atap (sisi datang angin dan sisi pergi angin) serta seringkali juga untuk dinding samping dan dinding belakang (*leeward*).

- b. (q_h) sebesar 1,09 kN/m²

3. Koefisien Tekanan Angin (Pressure Coefficients): Koefisien tekanan angin digunakan untuk mengubah tekanan kecepatan menjadi tekanan aktual yang bekerja pada permukaan bangunan. Untuk atap miring bangunan, koefisien tekanan bersih C_{nw} dan C_{nl} diperoleh dari Tabel standar. Berdasarkan geometri atap yang memiliki sudut kemiringan (10°) dan kondisi bangunan sebagai

(terbuka), koefisien tekanan bersih untuk atap diperoleh melalui interpolasi linier dari Tabel SNI 1727:2020

a. Kasus Beban A:

$$1) C_{nw} = 1,1$$

$$2) C_{nl} = -0,333$$

4. Perhitungan Beban Angin Aktual: Tekanan angin aktual (P) pada permukaan atap dihitung dengan mengalikan tekanan kecepatan q_h dengan koefisien tekanan bersih yang sesuai.

a. Untuk Kasus Beban A:

1) Sisi Windward

$$P_{nw} = q_h \times G \times C_{nw} = 1,09 \times 0,85 \times 1,1 = 1,02 \text{ kN/m}^2$$

2) Sisi Leeward

$$P_{nl} = q_h \times G \times C_{nl} = 1,09 \times 0,85 \times (-0,333) = -0,31 \text{ kN/m}^2$$

5. Pemodelan Beban Angin di ETABS: Beban angin yang telah dihitung dalam satuan kN kemudian diaplikasikan pada model struktur di perangkat lunak ETABS. Beban ini dimodelkan sebagai beban area (*uniform shell load*) pada elemen-elemen atap. Untuk memastikan akurasi, beban diterapkan dalam arah sumbu lokal 3 (*Direction: Local 3*), yang berarti beban bekerja tegak lurus terhadap permukaan atap, sesuai dengan definisi koefisien tekanan. Seluruh variasi kasus beban angin (Kasus A serta mempertimbangkan arah angin lainnya jika relevan seperti 90 derajat) dimasukkan dalam kombinasi beban desain untuk mendapatkan kondisi yang paling kritis pada elemen struktur.

Perhitungan Pembebanan Beban Gempa (E)

Analisis pembebanan gempa pada struktur ini dilakukan untuk memastikan bahwa bangunan mampu menahan gaya-gaya inersia yang terjadi akibat guncangan tanah gempa rencana, sehingga dapat mencapai tingkat kinerja layan dan tingkat kinerja batas yang disyaratkan. Prosedur dan parameter yang digunakan mengacu pada SNI 1726:2019.

1. Penentuan Parameter Gempa Rencana

Parameter gempa ditentukan berdasarkan lokasi geografis proyek, yaitu di Kawasan Industri Medan (KIM) Mabar, dan kondisi tanah setempat.

a. Data Spektral Gempa dan Kelas Situs

Dari peta sumber dan bahaya gempa Indonesia, didapatkan parameter percepatan batuan dasar untuk lokasi proyek:

1) Percepatan batuan dasar pada periode pendek, $S_s = 0.6342 \text{ g}$

2) Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik, $S_1 = 0.3501 \text{ g}$

Berdasarkan data penyelidikan tanah, lokasi proyek tergolong dalam Kelas Situs SE (Tanah Lunak).

b. Koefisien Situs dan Parameter Desain Spektral

Dengan nilai S_s , S_1 , dan Kelas Situs SE, koefisien amplifikasi F_a dan F_v ditentukan melalui interpolasi dari Tabel 6 dan 7 SNI 1726:2019:

Tabel 10 Koefisien Situs

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

CATATAN:
(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCEs) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SS^(a)	SS^(a)					

CATATAN:
(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(Sumber: SNI 1726:2019)

1) Koefisien Situs untuk periode pendek, $F_a = 1.4853$

2) Koefisien Situs untuk periode 1 detik, $F_v = 2.5996$

Dari nilai-nilai tersebut, dihitung parameter percepatan spektral desain pada permukaan tanah :

$$1) S_{ds} = \left(\frac{2}{3}\right) \times F_a \times S_s = 0,6280 \text{ g}$$

$$2) S_{d1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times F_v \times S_1 = 0,6280 \text{ g}$$

c. Kategori Desain Seismik (KDS)

Berdasarkan nilai S_{ds} dan S_{d1} , struktur ini masuk ke dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D, yang

menandakan tingkat risiko kegempaan yang tinggi dan memerlukan persyaratan desain yang lebih ketat.

2. Metode Analisis Beban Gempa

Untuk struktur dengan KDS D, SNI 1726:2019 mensyaratkan penggunaan metode Analisis Ragam Spektrum Respons Dinamik (*Response Spectrum Analysis*). Metode ini memperhitungkan kontribusi dari berbagai ragam getar (*mode shape*) alami struktur dalam merespon guncangan gempa.

a. Sistem Struktur dan Faktor Modifikasi Respons

Struktur ini didesain sebagai Sistem Ganda yang terdiri dari Rangka Pemikul Momen Khusus Baja (SRPMK) dan sistem *bresing*. Sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019, parameter sistem struktur yang digunakan adalah:

- 1) Faktor Modifikasi Respons, $R = 7$
- 2) Faktor Kuat Lebih Sistem, $\Omega_0 = 2.5$
- 3) Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d = 5.5$

Tabel 11 Sistem Rangka Pemikul Momen

D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan	I. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2 1/2	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber: SNI 1727:2020)

Periode fundamental (T) adalah salah satu parameter paling krusial dalam analisis dinamik struktur karena menentukan bagaimana sebuah bangunan akan merespons guncangan gempa. Penentuan periode ini dilakukan melalui dua pendekatan sesuai SNI 1726:2019, yaitu metode pendekatan (*empiris*) dan metode analisis modal dari perangkat lunak.

Penentuan Parameter Periode Pendekatan (T_a)

Metode ini menggunakan rumus empiris dari SNI 1726:2019 persamaan 36 untuk mendapatkan estimasi awal periode struktur.

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Berdasarkan Tabel 18 SNI 1726:2019 untuk sistem struktur rangka baja, parameter yang digunakan adalah:

- a. Koefisien $C_t = 0.0488$
- b. Eksponen $x = 0.75$

Dengan tinggi total bangunan (h_n) sebesar 36 meter, maka periode fundamental pendekatan adalah:
 $T_a = 0,0488 \times 36^{0,75} = 0,7172 \text{ detik}$

Penentuan Periode Batas Atas (T_{max})

SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 menetapkan bahwa periode yang didapat dari analisis model tidak boleh melebihi suatu batas atas (T_{max}) untuk mencegah penggunaan periode yang tidak realistis (terlalu fleksibel).

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

Koefisien batas periode (C_u) ditentukan dari Tabel 17 SNI 1726:2019. Berdasarkan nilai $S_d1 = 0.6067$ g, maka nilai C_u yang digunakan adalah 1.4.

$$T_{max} = 1,4 \times 0,7172 = 1,004 \text{ detik}$$

Periode Hasil Analisis Modal (T_c) dan Periode Desain (T)

Periode yang lebih akurat didapatkan dari hasil analisis modal menggunakan perangkat lunak ETABS, yang memperhitungkan distribusi massa dan kekakuan aktual struktur.

- a. Periode Hasil Analisis Arah X: $T_{c,x} = 1,017 \text{ detik}$
- b. Periode Hasil Analisis Arah Y: $T_{c,y} = 0,664 \text{ detik}$

Tabel 12 Jumlah Ragam Etabs

Cas e	M od e	Per iod Sec	UX	UY	U Z	Sum UX	Sum UY	Su m U Z	RX
Mo dal	1	1,0 17	0,83 81	0,0085	0	0,838 1	0,008 5	0	0,0035
Mo dal	2	0,6 64	0,01 12	0,7019	0	0,849 3	0,710 3	0	0,2729
Mo dal	3	0,5 74	0,00 04	0,0172	0	0,849 7	0,727 5	0	0,0054
Mo dal	4	0,3 97	0,00 02	0,0996	0	0,849 9	0,827 1	0	0,0374



Mo dal	5	0,308	0,1015	0,0021	0	0,9514	0,8292	0	0,0003	Story	UX kg	UY kg	UZ Kg
Mo dal	6	0,23	0,0001	0,0003	0	0,9515	0,8295	0	0,0005	Story7	0	0	0
Mo dal	7	0,179	0,0246	0,0023	0	0,9761	0,8318	0	0,0086	Story6	33244,6	33244,6	0
Mo dal	8	0,167	0,0001	0,131	0	0,9763	0,9628	0	0,537	Story5	148960,57	148960,57	0
Mo dal	9	0,143	0,0032	0,0001	0	0,9795	0,9628	0	0,0004	Story4	153592,19	153592,19	0
Mo dal	10	0,14	0,0145	4,722E-05	0	0,994	0,9629	0	0,0001	Story3	149107,81	149107,81	0
Mo dal	11	0,109	0,0058	7,308E-07	0	0,9997	0,9629	0	5,238E-07	Story2	147831,43	147831,43	0
Mo dal	12	0,09	0,0001	0,0209	0	0,9998	0,9838	0	0,0001	Story1	141972,69	141972,69	0
										Base	18000,96	18000,96	0

(Sumber: Etabs Structure)

1.5 Analisis linear dinamik

1.5.1 Analisis spektrum respons ragam

7.9.1.1 Jumlah ragam

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

Pengecualian Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang diinjau oleh model.

Gambar 5 Analisis Spektrum Respons Ragam

(Sumber: SNI 1726:2019)

Jadi, periode hasil analisis arah X dan Y pada Etabs, tidak melebihi periode maksimum, maka periode pakai arah X = 1,004 detik dan periode arah Y = 0,664 detik.

Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar seismik (V) adalah estimasi gaya lateral total yang diterima oleh dasar struktur akibat gempa. Perhitungan ini merupakan langkah krusial dalam metode Statik Ekuivalen dan juga digunakan sebagai pembanding untuk hasil analisis dinamik. Perhitungan dan distribusi gaya ini mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.

a. Penentuan Berat Seismik Efektif (W)

Berat seismik efektif (W) adalah total dari seluruh massa per lantai yang berpartisipasi dalam respons gempa. Berdasarkan data massa yang Anda berikan:

Tabel 13 Massa Per Lantai (Base Reaction)

(Sumber: Etabs Structure)

Catatan : $(\sum Massa \times g) / 1000$

$$W = ((33244,6 + 148960,57 + 153592,19,19 + 14910,81$$

$$+ 147831,43, + 141972,69) \times 9,80665) / 1000$$

$$W = 7597 \text{ kN}$$

b. Penentuan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Koefisien C_s mencerminkan respons struktur terhadap percepatan gempa dan dihitung sesuai persamaan 31 SNI 1726:2019.

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dengan parameter $S_{ds} = 0.628$, $R = 7$, dan $I_e = 1.0$, maka didapatkan:

$$C_s = \frac{0,628}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0897$$

Nilai C_s ini telah diperiksa terhadap batas atas dan batas bawah sesuai standar dan dinyatakan memenuhi syarat. Oleh karena itu, koefisien yang digunakan (C_s , pakai X) adalah 0,0863 (C_s , pakai Y) adalah 0,0897.

c. Perhitungan dan Distribusi Gaya Gempa Lateral (F_x)
Setelah C_s dan W didapatkan, gaya geser dasar total (V) dihitung:

$$V_x = C_s X \times W = 0,0863 \times 7597 \text{ kN} = 655,83 \text{ kN}$$

$$V_y = C_s Y \times W = 0,0897 \times 7597 \text{ kN} = 681,56 \text{ kN}$$

Penskalaan Gaya

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5, gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisis dinamik (Metode Spektrum Respons) harus dibandingkan dan diskalakan terhadap hasil dari metode Statik Ekuivalen. Prosedur ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil desain dari analisis dinamik yang lebih kompleks tidak menghasilkan nilai gaya yang secara signifikan lebih

rendah dari metode statik yang lebih sederhana dan konservatif.

a. Perhitungan Gaya Geser Statik (V)

Gaya geser dasar statik dihitung secara manual menggunakan persamaan 30 SNI 1726:2019, yaitu $V = C_s \times W$. Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan:

$$V_x \text{ Statik} = 647,227 \text{ kN}$$

$$V_y \text{ Statik} = 681,561 \text{ kN}$$

Nilai ini kemudian dibandingkan dengan hasil base shear statik dari ETABS ($V_x \text{ statik}$ dan $V_y \text{ statik}$ ETABS = 647,227 kN dan 681,561 kN) untuk verifikasi, dan hasilnya menunjukkan kesesuaian yang sangat baik.

Tabel I4 Gaya Geser Statik dan Dinamik

Output Case	Case Type	Step Number	FX kN	FY kN	FZ kN	MX Kn-m	MY kN-m	MZ kN-m
EQ Dx	LinStatic	1	-674,2265	5,606E-07	0	-2,283E-05	-15765,4947	9549,9786
EQ Dx	LinStatic	2	-674,2265	0	0	-1,999E-05	-15765,4947	9975,0838
EQ Dx	LinStatic	3	-674,2265	6,392E-07	0	-2,568E-05	-15765,4947	9124,8734
EQ Dy	LinStatic	1	0	-681,561	0	16244,0783	0	7392,8284
EQ Dy	LinStatic	2	0	-681,561	0	16244,0783	0	7918,5028

EQ Dy	LinStatic	Step Number	3	0	-681,561	0	16244,0783	0	-6867,1541
EQ Sx	LinResp Spec	Max	918,4476	131,2408	0	3227,6871	21203,7674	14439,4109	
EQ Sy	LinResp Spec	Max	132,424	801,4748	0	19236,7974	2885,8971	8186,2014	

(Sumber: Etabs Structure)

b. Perbandingan dengan Gaya Geser Dinamik (V Dinamik)

Gaya geser dasar dari hasil analisis dinamik Spektrum Respons (sebelum penskalaan) adalah:

$$\text{Arah } X = V_{\text{Dinamik}}, X = 918,448 \text{ kN}$$

$$\text{Arah } Y = V_{\text{Dinamik}}, Y = 801,475 \text{ kN}$$

c. Pengecekan Kebutuhan Penskalaan

Standar mensyaratkan bahwa V_{Dinamik} tidak boleh kurang dari 85% V_{statik} . Mari kita cek batas minimum ini:

$$\text{Batas Maksimum} = V_y \text{ Statik} = 681,561 \text{ kN}$$

Sekarang kita bandingkan:

1) Arah X: V_{dinamik}, X (918,448 kN) > Batas Minimum (647,227 kN). (Aman, tidak perlu skala)

2) Arah Y: V_{dinamik}, Y (801,475 kN) > Batas Minimum (681,561 kN). (Aman, tidak perlu skala)

d. Faktor Skala Akhir

Karena gaya geser dasar dinamik pada kedua arah sudah melebihi batas minimum 85% dari gaya geser dasar statik, maka tidak diperlukan adanya penaikan skala (*scaling up*). Faktor Penskalaan Gempa (f_x dan f_y) = 1.000. Faktor Skala Baru (SF_x dan SF_y) tetap sama dengan Faktor Skala Awal, yaitu 1.401 m/s² (atau 1400.95 mm/s²).

Dengan demikian, hasil analisis dari metode Spektrum Respons dapat langsung digunakan untuk proses desain elemen struktur tanpa perlu modifikasi faktor skala lebih lanjut.

Simpangan Antar Tingkat

Pengecekan simpangan antar tingkat merupakan salah satu verifikasi paling krusial dalam desain struktur tahan gempa. Tujuannya adalah untuk membatasi pergerakan relatif antar lantai selama terjadi gempa, sehingga dapat meminimalkan kerusakan pada elemen-elemen non-struktural (seperti dinding, kaca, dan partisi) serta menjaga stabilitas struktur secara keseluruhan. Prosedur ini mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12.

Tabel 15 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori risiko			
	I atau II	III	IV	
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistemn dinding eksterioe yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{xx}^c$	$0,020h_{xx}$	$0,015h_{xx}$	
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{xx}$	$0,010h_{xx}$	$0,010h_{xx}$	
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{xx}$	$0,007h_{xx}$	$0,007h_{xx}$	
Semua Struktur lainnya	$0,020h_{xx}$	$0,015h_{xx}$	$0,010h_{xx}$	

(Sumber: SNI 1726:2019)

7.3.4.2 Faktor redundansi, ρ , untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan sesuai Tabel 13, Tipe 1b, ρ harus sebesar 1,3. Kategori seismik desain E dan F tidak diizinkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan (lihat 0). Untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3. Kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diizinkan diambil sebesar 1,0:

- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 15;
- Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemuka seismik yang merangka pada masing-

masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

Gambar 5 Faktor Redundansi Untuk Kategori Desain Seismik D Sampai F

(Sumber: SNI 1726:2019)

a. Penentuan Simpangan Inelastis (Δ)

Simpangan yang dihasilkan dari analisis Spektrum Respons di ETABS adalah simpangan elastis (δ_e). Untuk mendapatkan simpangan desain inelastis (Δ) yang merepresentasikan pergerakan struktur yang sebenarnya, nilai simpangan elastis tersebut memiliki nilai $0,020 \times h_{sx}$. Nilai Δ kemudian dibagi dengan faktor redundansi (ρ) untuk mendapatkan Story Drift Inelastik yang akan diperiksa. Untuk struktur dengan KDS D, faktor ρ yang digunakan adalah 1.3.

b. Penentuan Batas Simpangan Izin (Δ_{max})

$$\Delta_{max} = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{0,020h_{sx}}{1,3} = 0,0154h_{sx}$$

$$\Delta = \frac{C_d \times \delta_e}{I_e}$$

Dengan parameter berikut :

- Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d = 5,5$
 - Faktor Keutamaan Gempa, $I_e = 1,0$
- c. Hasil Pengecekan

Tabel 16 Pengecekan Hasil Simpangan Antar Tingkat Arah X

Story	Elevation mm	Location	X-Dir mm	Y-Dir mm
Story7	36000	Top	36,942	3,297
Story6	30000	Top	33,452	2,73
Story5	25000	Top	29,85	2,17
Story4	19000	Top	23,402	1,478
Story3	13000	Top	15,838	0,827
Story2	6500	Top	6,756	0,251
Story1	0	Top	0	0

(Sumber: Etabs Stucture)

Tabel 17 Pengecekan Hasil Simpangan Antar Tingkat Arah Y

Story	Elevation mm	Location	X-Dir mm	Y-Dir mm
Story7	36000	Top	3,694	24,972
Story6	30000	Top	3,004	15,158
Story5	25000	Top	2,491	12,725

Story4	19000	Top	1,7	9,931
Story3	13000	Top	0,952	5,919
Story2	6500	Top	0,299	2,48
Story1	0	Top	0	0

(Sumber: Etabs Stucture)

Tabel 18 Simpangan Inelastis Antar Tingkat

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δ_{ex}	δ_{ey}	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
6	36.942	24.972	3.490	9.814	6000	19.195	53.977	92.308	OK
5	33.452	15.158	3.662	2.433	5000	19.811	13.382	76.903	OK
4	29.859	12.725	6.448	3.334	4000	35.464	18.337	92.308	OK
3	23.482	9.391	7.564	3.472	6000	41.602	19.096	92.308	OK
2	16.838	5.915	9.862	3.439	6500	49.951	18.915	100.000	OK
1	6.756	2.480	6.756	2.480	6500	37.158	13.640	100.000	OK

(Sumber: Etabs Stucture)

Dari hasil Tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa simpangan inelastis antar tingkat yang terjadi pada struktur untuk kedua arah (X dan Y) lebih kecil dari batas simpangan yang diizinkan oleh SNI 1726:2019. Dengan demikian, struktur dinyatakan Aman terhadap syarat simpangan antar tingkat.

Kombinasi Pembebanan

Untuk memastikan keamanan dan kinerja struktur sepanjang masa layannya, analisis dan desain harus mempertimbangkan berbagai skenario pembebanan yang mungkin terjadi. Kondisi pembebanan ini diatur dalam bentuk kombinasi beban yang diatur dalam SNI 1727:2020 – Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Kombinasi beban ini menerapkan faktor pengali pada setiap jenis beban untuk memperhitungkan variabilitas dan ketidakpastian dalam besaran beban serta kekuatan material, sehingga menghasilkan desain yang aman dan ekonomis.

Terdapat dua kategori utama dalam kombinasi beban: Kombinasi Beban untuk Kekuatan (*Strength Design/LRFD*) dan Kombinasi Beban untuk Daya Layanan (*Serviceability*).

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L + 0,5Lr
- 1,2D + 1,6Lr + 0,5W
- 1,2D + 1,0W + L + 0,5Lr
- 0,9D + 1,0W

4.2.2 Kombinasi beban untuk metode ultimit

4.2.2.1 Kombinasi pembebanan dasar

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga

kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat 0 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E.

Gambar 6 Kombinasi Pembebanan dasar

(Sumber: SNI 1727:2020)

- Kombinasi Beban untuk Kekuatan (*Strength Design / LRFD - Load and Resistance Factor Design*):

Kombinasi ini bertujuan untuk memastikan struktur memiliki kekuatan dan stabilitas yang memadai untuk menahan beban maksimum yang diperkirakan akan terjadi selama umur layan bangunan. Faktor beban yang lebih besar dari satu diterapkan pada beban nominal untuk mencerminkan ketidakpastian dan variabilitas beban. Kombinasi beban dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Hanya Beban Mati:

- 1) 4D

Kombinasi ini digunakan untuk kasus-kasus di mana hanya beban mati yang bekerja atau untuk memeriksa kapasitas elemen struktur di bawah beban gravitasi dasar.

- Beban Mati dan Beban Hidup (Termasuk Beban Atap/Hujan):

- 2) 1,2D + 1,6L + 0,5L_r. Kombinasi ini mempertimbangkan beban mati dan beban hidup secara dominan. Simbol L_r adalah beban hidup atap.

- Beban Mati, Hidup, dan Angin (Faktor 0.5W):

- 1) 1,2D + 1,6L_r + L

Dalam kombinasi ini, beban angin disertakan dengan faktor 0.5 jika beban angin bekerja bersamaan dengan beban hidup penuh pada bangunan.

- Beban Mati, Hidup, dan Angin (Faktor 1.0W):

- 1) 1,2D + 1W + L + 0,5L_r



Ini adalah kombinasi kunci yang melibatkan beban angin penuh. Beban hidup (L) juga dipertimbangkan dengan faktor 1.0.

- e. Beban Mati dan Angin (untuk Kondisi *Uplift/Guling*):

a. $0.9D + 1W$

Kombinasi ini sangat penting untuk memeriksa stabilitas struktur terhadap pengangkatan (*uplift*) atau penggulingan yang disebabkan oleh beban angin. Faktor 0.9 pada beban mati bertujuan untuk mengurangi efek penstabil dari beban mati, sehingga memaksimalkan dampak angin yang bersifat pengangkat atau pendorong.

- f. Beban Mati, Hidup, dan Gempa:

a. $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$

Kombinasi ini mempertimbangkan beban gempa penuh. Simbol E adalah efek beban gempa total, yang mencakup komponen horizontal dan vertikal. Jika S adalah beban salju, dapat diabaikan di lokasi yang tidak bersalju atau diganti dengan $0.2L_r$ jika ada beban hidup atap.

- g. Beban Mati dan Gempa (untuk Kondisi *Uplift/Guling*):

1) $0.9D + 1.0E$

Mirip dengan kombinasi angin, kombinasi ini juga vital untuk memeriksa stabilitas struktur terhadap guling atau *uplift* akibat beban gempa, dengan mengurangi efek penstabil dari beban mati.

2. Kombinasi Beban untuk Daya Layanan (*Serviceability*):

Kombinasi daya layanan digunakan untuk memeriksa kinerja struktur di bawah beban operasional normal, memastikan kenyamanan pengguna dan mencegah kerusakan non-struktural (misalnya, lendutan berlebihan, getaran, atau retakan). Faktor beban yang digunakan umumnya adalah 1.0.

- a. Kombinasi Umum Daya Layanan:

$1.0D + 1.0L + 1.0W + 1.0E$. Kombinasi ini sering digunakan untuk mengevaluasi lendutan pada balok dan plat, getaran lantai, dan kinerja elemen non-struktural di bawah beban-beban nominal tanpa faktor peningkatan.

3. Penerapan dalam Pemodelan Struktur:

Dalam perangkat lunak analisis struktur seperti ETABS, setiap kombinasi beban yang disebutkan di atas diimplementasikan dengan mempertimbangkan arah dan efek ortogonal beban angin dan gempa.

- a. Beban Angin (W): Beban angin dapat bekerja dari berbagai arah (0° , 90° , 180° , 270°), dan untuk setiap arah, efek tekanan positif dan hisapan negatif harus diperiksa. Oleh karena itu, berbagai skenario beban angin (misalnya, WA, WB, dan variasi arah lainnya) dimasukkan secara terpisah dalam kombinasi beban yang relevan.

- b. Beban Gempa (E): Beban gempa diaplikasikan dalam arah horizontal utama (Global X dan Global Y) serta efek gabungan dari 100% gempa di satu arah dan 30% gempa di arah tegak lurus (sesuai Pasal 12.5.3 SNI 1726:2019). Komponen vertikal gempa juga harus diperhitungkan dalam definisi beban gempa total E. Ini menghasilkan banyak sub-kombinasi yang harus dianalisis untuk memastikan struktur mampu menahan gaya gempa dari segala arah.

4.2.2.3 Kombinasi pembeban dengan pengaruh beban seismik

Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin.

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud, $E = f(E_{vs}E_h)$ (pada 0 atau 0) dikombinasikan dengan

pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_h + L$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_h$$

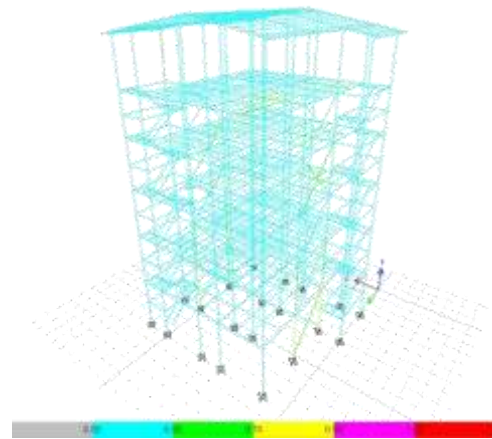
Gambar 7 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik

(Sumber: SNI 1727:2020)

Dengan menerapkan seluruh kombinasi beban ini, desainer dapat memastikan bahwa setiap elemen struktural didesain untuk menahan kondisi pembebanan yang paling kritis, sehingga menjamin keamanan, stabilitas, dan daya layanan bangunan sesuai dengan standar yang berlaku.

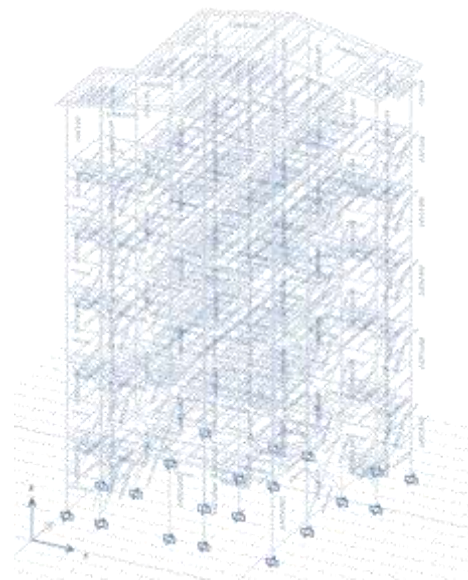
Hasil Analisis Kekuatan Struktur

Setelah semua pembeban dianalisis sesuai dengan kombinasi pembebanan yang disyaratkan pada SNI, dilakukan verifikasi kekuatan penampang baja dengan menggunakan fitur *Steel frame Design* pada perangkat lunak ETABS. Verifikasi dilakukan dengan memeriksa 2 rasio yaitu, kontrol terhadap interaksi aksial momen, dan rasio gaya geser. Rasio ini membandingkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen dengan kapasitas atau kekuatan maksimum dari profil elemen tersebut. Sebuah elemen dinyatakan aman jika rasio tegangannya lebih kecil dari 1. Rasio tertinggi berdasarkan interaksi aksial dan momen yang didapat pada bangunan *industrial ester* adalah sebesar 0,741. Rasio berdasarkan gaya geser yang didapat pada bangunan *industrial ester* adalah sebesar 0,046 dan 0,130. Hasil ini menunjukkan bahwa desain struktur tersebut bersifat efisien dan aman.



Gambar 8 Rasio Interaksi Aksial dan Momen

(Sumber: Etabs Structure)



Gambar 9 Rasio Gaya Geser

(Sumber: Etabs Structure)

KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian proses perhitungan dan analisis yang mencakup pengumpulan data gambar shop drawing, perhitungan kekuatan struktur baja, maka dapat ditarik bahwa desain struktur baja yang diterapkan mampu menahan beban kerja dengan baik, dan berada dalam batas aman yang ditetapkan oleh standar perencanaan. Semua elemen utama menunjukkan performa struktural yang memadai dengan kontrol terhadap rasio interaksi aksial dan momen dibawah 0,9



yaitu (0,741). Dan rasio gaya geser sebesar 0,046 dan 0,130. sehingga bangunan dinyatakan layak secara teknis untuk mendukung operasional fasilitas industri yang dirancang.

REFERENSI

- Mizanuddin Sitompul, dkk. (2022). Studi perbandingan spektrum respons desain SNI 1726:2019 terhadap SNI 1726:2012 di Provinsi Sumatera Utara.
- Anonim. (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726:2012. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726:2019. Badan Standarisasi Nasional
- Anonim. (2020). Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727:2020. Badan Standarisasi Nasional
- Anonim. (2019). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 2847:2019. Badan Standarisasi Nasional
- Crista, N. H., Widorini T. N., dan Anggraini, L. N. (2020). Perbandingan Tulangan Lentur Pada Gedung Fakultas Psikologi Universitas Semarang dengan Membandingkan Peraturan SNI Gempa 2012 dengan SNI Gempa 2019. *Jurnal Pengembangan Rekayasa dan Teknologi*, 16(2), 143-162.
- Hastono. B., dan Syamsudin, R. (2018). Perbandingan Ketahanan Gempa SNI 03-Kota Aceh. *Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 1(1), 2615-7195.
- Ayuddin. (2024). Analisis Struktur Perencanaan Gedung Kantor Dengan Software. 09, 281-291.
- Fatkur Rizki, P. P. (2021). Analisis Kinerja Struktur Pada Konstruksi Baja Dan Konstruksi Beton Bertulang Dengan Analisa Pushover Statik Non-Linear Menggunakan Software ETABS. No. 2, Vol. 1| 2021, 64-76.
- M.Y. Zachari, G. T. (2020). Analisis Struktur Baja Tahan Gempa dengan Sistem SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) Berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012. *Volume 1, Issue 2, September 2020*, 9-16.
- Mohammad Rosul Zainuddin Malik, B. S. (2023). Studi Perbandingan Perilaku Gedung Struktur Baja Sistem Bresing Eksentris Tipe Inverted-V Dan Sistem Bresing Konsentris Tipe-X Terhadap Beban Gemp. *Journal of Scienteck Research and Development, Volume 5, Issue 2, December 2023*, 714-730.
- Mohammad Saiful Hakiki, T. P. (2018). Analisis Struktur Atas Untuk Perencanaan Bangunan Rangka Baja Project Pt.Bogatama Marinusamakasar, Sulawesi Selatan. *Volume 07, Nomor 02, Desember 2018*, 82-98.
- Ridwan Dwi Ansyah, H. K. (2016). Perilaku Bangunan Struktur Baja Terhadap Beban Gempa Menggunakan Data Tanah Dari Hasil Uji Cpt. *Jurnal Konstruksia, Volume 7 Nomer 2 April 2016*, 53-64.