

Analisis Struktur dan Perencanaan Ketahanan Gempa (SNI 1726:2012) Warehouse PT. X di Gresik

Akhmad Andi Saputra³, Dandy Nugroho², Ahmad Muwafiqudinulhaq³
^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email : [1patih.aas.25@gmail.com](mailto:patih.aas.25@gmail.com), [2dandynugroho@gmail.com](mailto:dandynugroho@gmail.com), [3ahmadmuwafiq10@gmail.com](mailto:ahmadmuwafiq10@gmail.com)

Abstract

Warehouse is a building to store a variety of necessary products for a company, it could be said that warehouse is collection point and starting point of the goods that will be distributed to the retailer or directly to the consumer. In cases that took place at the warehouse in PT.X is a building which had height of 26 meters and span of 25 meters that has earthquake-prone and wind loads. This makes researcher need to do structure analysis and planning of warehouse resilience of PT.X in Gresik. This study uses SNI 1726:2012 for planning earthquake resistance of building and non-building structures. The step of structure analysis of rafters, gordings, beams and columns as follows: 1. Input data into STAAD pro (structure modelling), 2. Control the strength of rafter structures, gordings, beams and columns using the largest external force data based on calculations from STAAD pro. The results of this study are: 1. The structural resistance to combined loads according to SNI 1726:2012 shows an indication of the inability of the steel profile on the H 350 x 175 rafter and on the H 250 x 125 beam with the actual value of the allowable ratio more than 1.00, 2. The rafter profile is replaced with I 450 x 175 x 11 profile which has a ratio value of 0.7818 and the beam profile is replaced with H 250 x 250 x 9 x 14 which has a ratio value of 0.1996, both steel profiles have indicated pass result.

Keywords: Analysis, STAAD Pro, Steel, Structure.

1. Pendahuluan

Berdasarkan letak geografis, Indonesia terletak di jalur cincin api yaitu diantara lempeng Eurasia dan lempeng Australia, sehingga mengakibatkan Indonesia rawan gempa. Untuk meminimalisir resiko bencana yang terjadi maka diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa. Hal ini menuntut seorang perencana mendesain *warehouse* atau bangunan tingkat tinggi dengan perencanaan struktur yang mampu menahan gaya akibat gempa. Struktur yang kuat biasanya memiliki ukuran yang besar, namun tidak ekonomis apabila diterapkan pada bangunan tingkat tinggi. Perhitungan besar dimensi berdasarkan pada kolom atau balok yang menanggung beban paling besar, analisa besar gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan diperlukan untuk memperoleh dimensi struktur yang optimal dan ekonomis pada saat pengaplikasian struktur.

Struktur baja sangat baik digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi, dikarenakan material baja memiliki kemampuan simpangan pascaelastik secara berulang kali (*daktilitas*) yang lebih besar dibanding dengan material struktur lainnya. Pada saat terjadi gempa, sifat daktilitas tersebut akan mempertahankan kekuatan dan kekakuan struktur sehingga bangunan tetap berdiri. Material baja mempunyai kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang besar, sehingga sesuai digunakan untuk struktur pemikul beban gempa yang berarah bolak-balik seperti gaya gempa [1]. Apabila struktur lentur maka pembebanan perlu memperhitungkan transformasi benda dari kondisi semula ke kondisi terkini (*deformasi*) akibat momennya.

Perencanaan bangunan ini didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung mengingat Indonesia terletak di jalur cincin api, hal tersebut dapat menimbulkan gempa bumi yang tidak dapat diprediksi sebelumnya sehingga menimbulkan kerugian material dan non material yang sangat besar [2]. Penerapan dan pengaplikasian standar tersebut dimaksudkan untuk mengetahui dan mengevaluasi kesesuaian struktur bangunan terhadap kekuatannya dalam menahan berbagai kombinasi beban. Bangunan *warehouse* di PT. X, yang dijadikan obyek dalam penelitian ini, merupakan bangunan yang

memiliki tinggi 26 meter dan bentang 25 meter yang rawan gempa dan beban angin. Sehingga peneliti memberi judul “Analisis Struktur dan Perencanaan Ketahanan Gempa (SNI 1726:2012) Warehouse PT. X di Gresik”.

Kombinasi pembebanan

Struktur bangunan harus dirancang dengan menggunakan kombinasi pembebanan untuk metode ultimit [3]. Suatu perencanaan struktur baja harus memenuhi standar kombinasi pembebanan sebagai berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r atau R)
3. 1,2D + 1,6(L_r atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r atau R)
5. 1,2D + 1,0E + L
6. 0,9D + 1,0W
7. 0,9D + 1,0E

dimana:

D = pengaruh beban mati (kg)

L = pengaruh beban (kg)

R = beban air hujan(kg)

W = beban angin (kg)

E = pengaruh beban gempa (kg)

Beban mati (dead load)

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian–penyelesaian, mesin–mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu [4].

Tabel 1. Massa jenis bahan bangunan[4]

No	Material	Massa jenis (kg/m ³)	Keterangan
1	Baja	7.850	
2	Batu alam	2.600	
3	Batu belah	1.500	Berat tumpuk
4	Batu karang	700	Berat tumpuk
5	Batu pecah	1.450	
6	Besi tuang	7.250	
7	Beton	2.200	
8	Beton bertulang	2.400	
9	Kayu	1.000	Kelas 1

Beban hidup (live load)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu bangunan, dan didalamnya termasuk beban–beban pada lantai yang berasal dari barang–barang yang dapat berpindah, mesin–mesin serta peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap, beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan [4].

Beban angin (wind load)

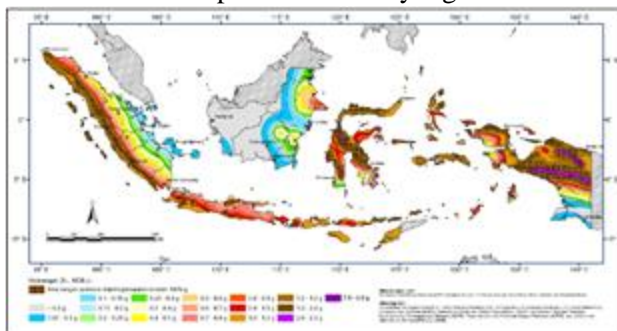
Beban angin pada bangunan bersifat dinamis. Faktor lingkungan dapat mempengaruhi beban angin, seperti kekerasan dan bentuk permukaan, bentuk kerampingan dan tekstur struktur itu sendiri, serta posisi bangunan yang saling berdekatan. Faktor-faktor tersebut mempengaruhi kecepatan, arah, dan perilaku angin ketika bekerja pada bangunan. Umumnya kecepatan angin yang bekerja pada suatu bangunan akan meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian bangunan. Beban tekanan angin tersebut dapat disederhanakan dalam bentuk koefisien angin.

Tabel 2. Koefisien beban angin[4]

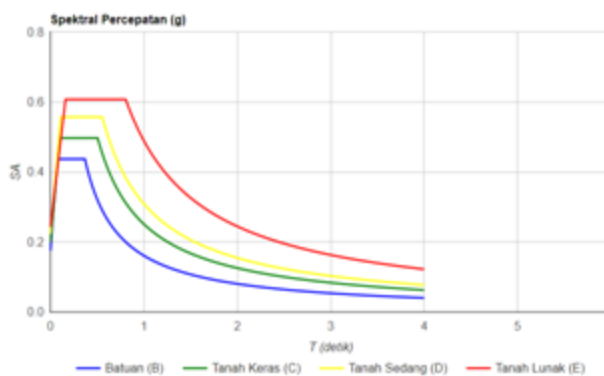
No	Jenis Struktur	Posisi Tinjauan	Koefisien
1.	Gedung tertutup: - dinding vertikal	- di pihak angin	+0,9
		- di belakang angin	-0,4
		- sejajar angin	-0,4
	- Atap segitiga	- di pihak angin ($\alpha < 65^\circ$)	(0,02 α - 0,4)
		- di pihak angin ($65^\circ < \alpha < 90^\circ$)	+0,9
		- di belakang angin (semua sudut)	-0,4
	- Atap segitiga majemuk	- bidang atap di bidang angin ($\alpha < 65^\circ$)	(0,02 α - 0,4)
		- bidang atap di pihak angin ($65^\circ < \alpha < 90^\circ$)	+0,9
- bidang atap di belakang angin (semua sudut)		-0,4	
- bidang atap vertikal di belakang angin (semua sudut)		+0,4	
2.	Gedung terbuka sebelah	sama dengan no.1, dengan tambahan:	
		- bid. dinding dalam di pihak angin	+0,6
		- bid. dinding dalam di belakang angin	-0,3

Beban gempa (earth quake)

Terdapat tiga metode analisis beban gempa, yaitu metode statis ekuivalen, metode respon spektrum, dan metode riwayat waktu. Metode statis linier atau statis ekuivalen dapat digunakan untuk struktur regular dengan ketinggian terbatas. Perbedaan antara ketiga analisis tersebut adalah tingkat gaya dan distribusinya sepanjang tinggi struktur. Analisis riwayat waktu merupakan teknik penting untuk analisis *seismic struktural* terutama bila respons struktural yang dievaluasi tidak linier [5].



Gambar 1. Peta gempa SNI 1726:2012[2]



Gambar 2. Respon spektrum gempa rencana wilayah kabupaten Gresik[5]

Tabel 3. Faktor keutamaan gempa[5]

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Baja

Pemilihan bahan baja harus memperhatikan sifat-sifat logam seperti kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*) atau kekuatan luluh (*fatigue strength*). Sifat mekanik didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Suatu benda disebut tegar jika mampu menahan beban, hal ini akibat atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan. Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban. Sifat mekanik tiap jenis baja dapat dilihat dalam tabel 4.

Tabel 4. Sifat mekanik beberapa jenis baja[6]

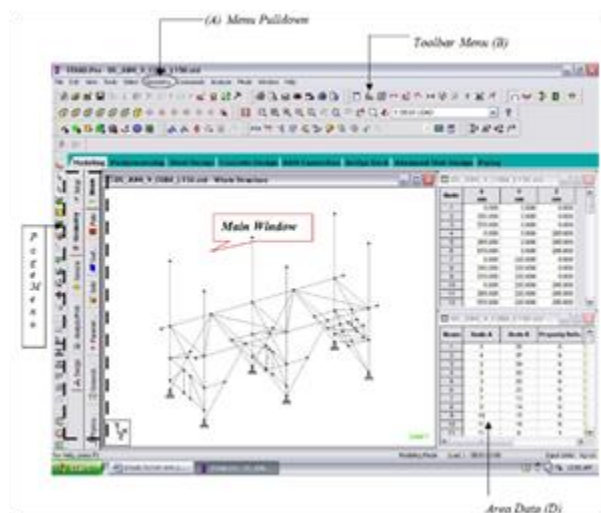
Jenis baja	Tegangan putus f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum f_y (MPa)	Regangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sifat-sifat mekanis lain dari baja structural, untuk maksud perencanaan, ditetapkan sebagai berikut [6]:

- Modulus elastisitas: $E = 200.000$ MPa
- Modulus geser: $G = 80.000$ MPa
- Nisbah poisson: $\mu = 0,3$
- Koefisien pemuaian: $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ C$

STAAD Pro V.8i

STAAD adalah singkatan dari *structural analysis and design*, yang dirilis oleh *Research Engineering* di Amerika. STAAD merupakan salah satu program analisa struktur yang cukup populer dan banyak dipakai oleh konsultan-konsultan struktur. STAAD menggunakan teknologi yang paling mutakhir dalam metode *finite-element*, metode *input* yang sangat interaktif dan mudah dioperasikan. Kelebihan STAAD dibandingkan program yang sejenis adalah kemudahan dalam penggunaan GUI (*Graphical User Interface*). GUI STAAD dibuat sedemikian rupa sehingga pengguna mudah menggunakannya.



Gambar 3. Graphic user interface STAAD Pro[7]

2. Metode

Menurut Kerlinger, rancangan penelitian merupakan rencana dan struktur penyelidikan yang disusun sedemikian rupa sehingga peneliti akan dapat memperoleh jawaban atas pertanyaan-pertanyaan penelitiannya dan penelitian tersebut dilakukan sebelum terjun ke lapangan ketika peneliti pada tahap

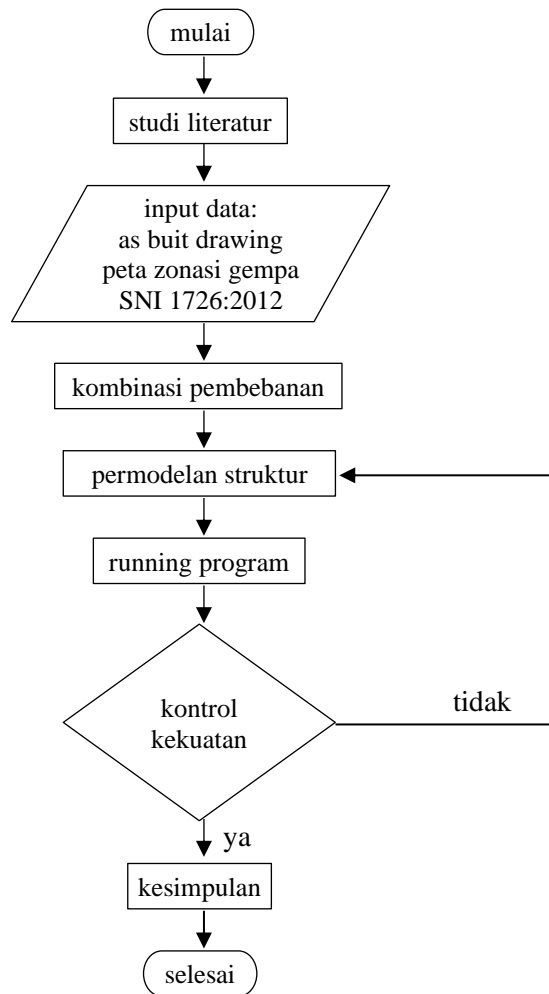
mempersiapkan diri [8]. Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian terapan ialah penelitian dengan tujuan untuk memecahkan masalah praktis [9]. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman perancangan, hingga mencapai tujuan akhir dari analisa struktur.

Bangunan *warehouse* ini berlokasi di PT. X Kabupaten Gresik. Adapun alasan yang mendasari peneliti memilih lokasi ini sebagai bahan penelitian adalah:

1. Bangunan *warehouse* merupakan bangunan yang menggunakan struktur baja dengan ketinggian 26 meter dengan bentang 25,30 meter, sehingga rawan terhadap beban angin dan beban gempa.
2. Mudah dalam mengakses data yang dibutuhkan dan informan/narasumber mudah ditemui, sehingga penelitian ini cepat selesai.

Diagram alir penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Lokasi dan waktu penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan selama 5 bulan, mulai bulan Januari 2020 hingga bulan Mei 2020. Adapun data umum penelitian ini adalah:

1. Nama proyek : Warehouse
2. Lokasi : Gresik
3. Fungsi : Gudang
4. Jumlah lantai : 1 lantai

- 5. Tinggi bangunan : 26 meter
- 6. Bentang bangunan : 25,30 meter
- 7. Struktur : Baja



Gambar 5. Lokasi penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Data struktur bangunan

Data struktur gedung *warehouse* ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5. Data struktur bangunan

No	Dimensi	Keterangan
1	H 400 x 200 x 8 x 13	Kolom baja
2	H 250 x 125 x 6 x 9	Kolom baja
3	H 200 x 100 x 5,5 x 8	Kolom baja
4	Pipa Ø 2,5"	Bracing kolom
5	Round bar Ø 12 mm	Sagrod
6	H 350 x 175 x 7 x 11	Rafter
7	CNP 200 x 75 x 20 x 3,2	Gording

Pembebanan bangunan

Pembebanan gedung *warehouse* ini berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 [4], sedangkan untuk beban gempa dihitung berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012 [3]. Perhitungan kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Beban mati (*dead load*)

1. Beban mati pada plat lantai

Beban mati pada plat lantai sebagai berikut:

- Tebal PIU panel *polyurethane* = 0,010 meter
- Berat PIU panel *polyurethane* = 9,90 kg/m²
Beban *polyurethane* = 0,010 x 9,90 = 0,099 kg/m²
- Plat beton (200mm) = 0,20 meter
- Berat beton bertulang = 2.400 kg/m²
Beban plat beton = 0,20 x 2.400 = 480 kg/m²
Beban mati plat lantai = 0,099 + 480 = 480,099 kg/m²

2. Beban mati atap

Beban mati pada atap sebagai berikut:

- Berat gording (C200x75x20x3,2) = 9,30 kg/m
- Penutup atap metal = 4,59 kg/m
- Jarak antar gording = 1,20 meter
- Berat atap = 4,59 x 1,20 = 5,51 kg/m

- Beban mati atap = $9,30 + 5,51 = 14,81$ kg/m

Beban angin (*wind load*)

Beban angin yang digunakan mengacu pada PPIUG pasal 4.2 ayat 2. Ayat tersebut menyebutkan tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2 .

1. Beban angin

- Sudut kuda-kuda (α) = 15°
- Q angin = 40 kg/m^2
- Jarak antar kuda-kuda = 8 meter
- Jarak antar gording = 1,20 meter
- Koefisien angin tekan (c) = $(0,02\alpha - 0,4) = (0,02 \times 15 - 0,04 = -0,1$
- Koefisien angin hisap = $-0,4$

Beban angin pada kuda-kuda

- Angin tekan = $-0,3 \times 8 \times 40 = 96 \text{ kg/m}$
- Angin hisap = $-0,4 \times 8 \times 40 = 128 \text{ kg/m}$

Beban gempa

Lokasi *warehouse* diasumsikan termasuk kelas situs SD (kondisi tanah sedang). Bangunan tersebut berfungsi sebagai gudang penyimpanan dengan kategori resiko I, diperlihatkan pada tabel 2.5, dengan Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,0. Berdasarkan SNI 1726:2012 perhitungan pembebanan gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati selama umur gempa 10% dalam 50 tahun [3].

1. Kategori risiko struktur bangunan

- Jenis pemanfaatan = gudang penyimpanan
- Kategori risiko = I
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0

2. Parameter percepatan gempa berdasarkan data gempa

- Percepatan dasar pada periode pendek (S_s) = $0,655 \text{ g}$
- Percepatan dasar pada periode 1 detik (S_1) = $0,242 \text{ g}$

3. Kelas situs tanah

- Kelas situs jenis tanah = SD (tanah sedang)

4. Maksimum yang dipertimbangkan resiko target (MCE_R). Berdasarkan data gempa didapatkan data sebagai berikut:

- Faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) = 1,276
- Faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode 1 detik (F_v) = 1,916
- Parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) $F_a \cdot S_s = 0,836$
- Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{M1}) $F_v \cdot S_1 = 0,464$
- Parameter spektrum respons percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) = $\frac{2}{3} \cdot S_{MS} = 0,557$
- Parameter spektrum respons percepatan desain pada periode pendek (S_{D1}) = $\frac{2}{3} \cdot S_{M1} = 0,309$

5. Menentukan spektra respons percepatan desain (S_d)

- Spektra respons percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) = $\frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \cdot 0,836 = 0,557$
- Spektra respons percepatan desain pada periode pendek (S_{D1}) = $\frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \cdot 0,464 = 0,309$

Periode getar fundamental struktur (T)

- $T_0 = 0,2 \cdot \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}}\right) = 0,2 \cdot \frac{0,309}{0,557} = 0,111$ detik
- $T_s = \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}}\right) = \frac{0,309}{0,557} = 0,555$ detik
- $S_a = 0,2 \cdot \left(\frac{S_{D1}}{T_0}\right) = 0,2 \cdot \frac{0,309}{0,111} = 0,557$ detik

6. Kategori desain seismik (KDS)

Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek menurut SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Kategori desain seismik perioda pendek [3]

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

Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik menurut SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Kategori desain seismik perioda 1 detik [3]

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Berdasarkan hasil perhitungan S_{DS} dan S_{D1} di atas, maka peneliti dapat mengelompokkan kategori desain seismik pada penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 8. Kategori desain seismik pada penelitian ini

Parameter	Nilai	Kategori resiko	KDS
S_{DS}	0,557	I	D
S_{D1}	0,309	I	D

7. Sistem struktur dan parameter sistem

Karena penelitian ini menggunakan rangka baja pemikul momen khusus sebagai sistem penahan gempa, maka berdasar SNI 1726:2012 kita dapat menentukan faktor R , C_d dan Ω_0 [3]. Faktor R , C_d dan Ω_0 yang digunakan ialah sebagai berikut:

- Koefisien modifikasi respons (R) = 8
- Faktor kuat lebih sitem (Ω_0) = 3
- Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5
- Koefisien reduksi beban hidup untuk perhitungan (W_t) = 0,5
- Reduksi (p) = 1,3

Scale factor ($g \cdot l \cdot R$)

- $g = 9.81 \text{ m/s}$
- Scale factor = $1.226,25 \text{ mm/s} = 1,226 \text{ m/s}$

A. Beban gempa respons spektrum, data percepatan tanah pada batuan dasar:

- Sumber = puskim.pu.go.id
- Lokasi = PT. X Gresik, Jawa Timur
- Jenis batuan = Tanah Sedang (D)

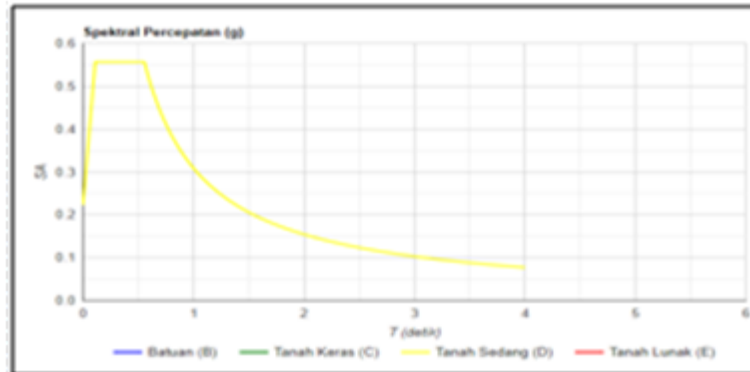


Gambar 6. Input koordinat warehouse PT. X

Variabel	Nilai
ρ_{GA} (g)	0.320
ρ_{G1} (g)	0.655
ρ_{G2} (g)	0.242
C_{ns}	0.991
C_{ns}	0.932
F_{PGA}	1.180

T (detik)	SA (g)
0	0.223
T_0	0.557
T_a	0.557
T_0+0	0.472
$T_0+0.1$	0.409
$T_0+0.2$	0.362

Gambar 7. Data jenis batuan pada lokasi penelitian



Gambar 8. Spektral percepatan (g)

1. Pembebanan

- Atap (D_L) = 40.535 kg
- Balok H250x125x6x9 (D_L) = 35.147 kg
- Kolom H400x200x8x13 (D_L) = 48.048 kg
- Pekerja (L_L) = 175.075 kg

Sehingga W_{total} akibat pembebanan = 211.268 kg

2. Periode fundamental pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) harus ditentukan dari persamaan berikut:

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

dimana:

h_n = ketinggian struktur (m)

Nilai C_t dan x dapat ditentukan dari tabel di bawah ini.

Tabel 9. Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung[3]

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa. Besar C_t dan x akibat kondisi di atas tertera dalam tabel di bawah.

Tabel 10. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x [3]

Tipe struktur	C_t	x
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75

Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Karena dalam penelitian ini mekanisme rangka baja merupakan rangka baja pemikul momen, maka berdasar tabel 10 dapat ditentukan nilai:

- $C_t = 0,0724$
 - $\alpha = 0,8$
 - $h_n = 26$ meter
 - $C_u = 1,4$
 - $T_a = C_t \cdot h_n^\alpha = 0,0724 \cdot 26^{0,8} = 0,981$ detik
 - $T_{max} = C_u \cdot T_a = 1,4 \cdot 0,981 = 1,374$ detik
- Kontrol $T_a < T_c < T_{max}$
 $0,981 < T_c < 1,374$
 maka nilai T_c diambil 1,374 detik

3. Geser dasar seismik

- C_s hitung = $\frac{SDS}{R/I_e} = \frac{0,557}{8/1} = 0,069648$
 - C_s max = $\frac{SD1}{T(R/I_e)} = \frac{0,309}{1,374(8/1)} = 0,028131$
 - C_s min = $0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,557 \cdot 1 = 0,024516$
- Kontrol C_s min < C_s < C_s max
 $0,024516 < C_s < 0,028131$

Maka nilai C_s menggunakan C_s hitung = 0,070

- $V = C_s \cdot W_t = 0,070 \cdot 211.268 = 14.714$ kg

4. Gaya lateral ekuivalen

$F_x = C_{vx} \cdot V$

dimana $C_{vx} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum_i W_i h_i^k}$

Karena nilai $T = 1,374$ detik

Maka, nilai $k = 1,436776$

Tabel 11. Beban gempa searah sumbu

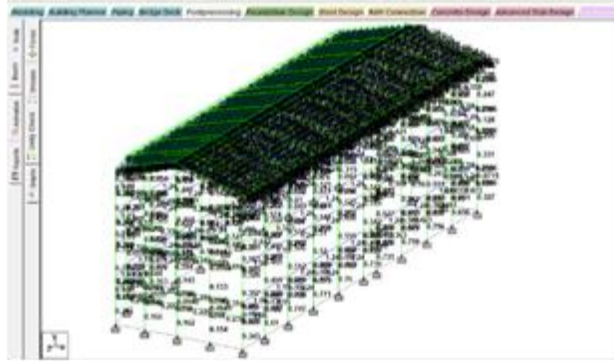
Lantai	Tinggi dari lantai		Berat Wt	Momen W _i · (h _i ^k) (kg.m)	Lateral F _i x-z (kg)
	h _i (m)	h _i ^k (m)			
Atap	26	107,895	211.268	22.794.649	14,714
Simulasi (1)			Simulasi (2)		
Kolom - x	Kolom - z		Kolom - x	Kolom - z	
11	5		11	5	
(kg)	(kg)		(kg)	(kg)	
1338	883		401	2943	
100%	30%		30%	100%	

Maka diperoleh nilai beban gempa searah sumbu sebagai berikut:

- Beban gempa searah sumbu X pada atap = 1.338 kg
- Beban gempa searah sumbu Z pada atap = 883 kg

Perhitungan STAAD Pro V.8i

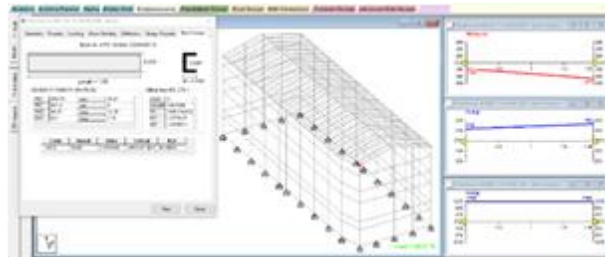
Simulasi pembebanan yang dimasukkan ke dalam STAAD Pro dengan hasil yang dapat memudahkan kita mengetahui bagian struktur gedung yang menanggung beban terbesar. Cek kesatuan merupakan acuan peneliti untuk mengetahui kemampuan profil struktur menahan beban yang telah disimulasikan ke dalam STAAD Pro.



Gambar 9. Tampilan *unity check* STAAD Pro

Perhitungan gording

Perencanaan awal gording menggunakan profil C200x75x20x3,2. Profil tersebut diinput dalam STAAD Pro beserta beban yang bekerja. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa profil *beam* 511 searah sumbu Z (panjang profil 8,00 meter) menahan beban terbesar.



Gambar 10. *Output beam end forces* gording C200x75x20x3,2

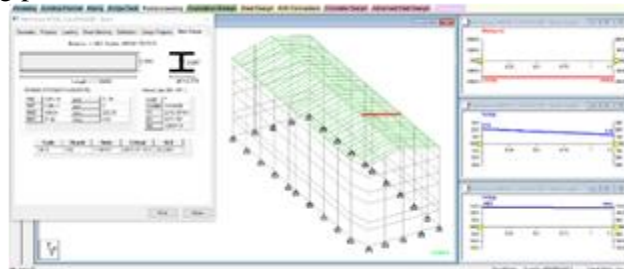
Setelah itu dilakukan kontrol kekuatan terhadap *beam* yang mengalami beban terbesar tersebut, dalam hal ini *beam* 511. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa *beam* 115 profil C200x75x20x3,2 memenuhi syarat kontrol kekuatan dengan nilai aktual *ratio* 0,447.

Tabel 12. Kontrol *Output beam end forces* gording C200x75x20x3,2

Beam no.	MZ (kgm)	Fy (kg)	FX (kgm)	MNZ (kNm)	MNY (kNm)	mzx (kNm)	mny (kNm)	Ratio	Result
511	-471	166	3545	46.57	9.6	12.36	1.35	0.447	PASS

Perhitungan rafter

Perencanaan awal *rafter* menggunakan profil H350x175x7x11. Profil tersebut diinput dalam STAAD Pro beserta beban yang bekerja. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa profil *beam* 1463 searah sumbu X (panjang profil 11,00 meter) menahan beban terbesar.



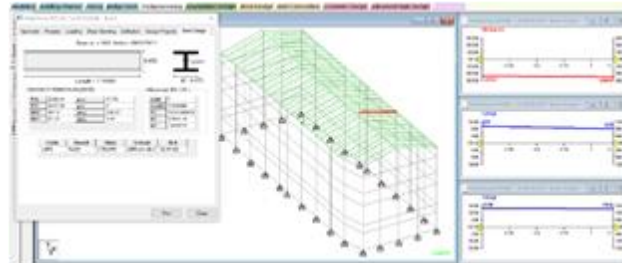
Gambar 11. *Output beam end forces* rafter H350x175x7x11

Setelah itu dilakukan kontrol kekuatan terhadap *beam* yang mengalami beban terbesar tersebut, dalam hal ini *beam* 1463. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa *beam* 1463 profil H350x175x7x11 tidak memenuhi syarat kontrol kekuatan dengan nilai aktual *ratio* 1,1904.

Tabel 13. Kontrol output beam end forces rafter H350x175x7x11

Beam no.	MZ (kgm)	Fy (kg)	FX (kgm)	MNZ (knm)	MNY (knm)	muz (knm)	mny (knm)	Ratio	Result
1463	-15963	214	2219	190.64	37.22	222.58	0.53	1.1904	FAIL

Karena profil H350x175x7x11 tidak memenuhi syarat, maka dilakukan penggantian dimensi profil menjadi I450x175x11. Profil tersebut diinput sebagai beam 1463 dalam STAAD Pro beserta beban yang bekerja.



Gambar 12. Output beam end forces rafter I450x175x11

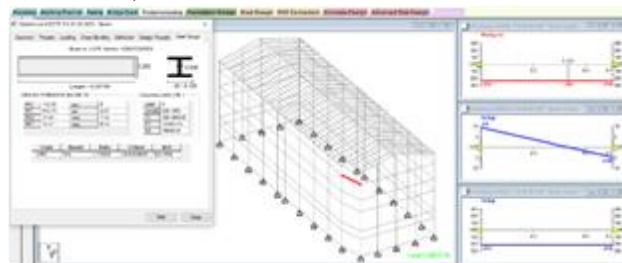
Setelah itu dilakukan kontrol kekuatan terhadap beam yang telah diganti tersebut, dalam hal ini beam 1463. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa beam 1463 profil I450x175x11 memenuhi syarat kontrol kekuatan dengan nilai aktual ratio 0,7818.

Tabel 14. Kontrol output beam end forces rafter I450x175x11

Beam no.	MZ (kgm)	Fy (kg)	FX (kgm)	MNZ (knm)	MNY (knm)	muz (knm)	mny (knm)	Ratio	Result
1463	-24849	977	1814	441.3	57.12	335.07	1.07	0.7818	PASS

Perhitungan balok

Perencanaan awal balok menggunakan profil H250x125x6x9. Profil tersebut diinput dalam STAAD Pro beserta beban yang bekerja. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa profil beam 418 searah sumbu Z (panjang profil 7,28 meter) menahan beban terbesar.



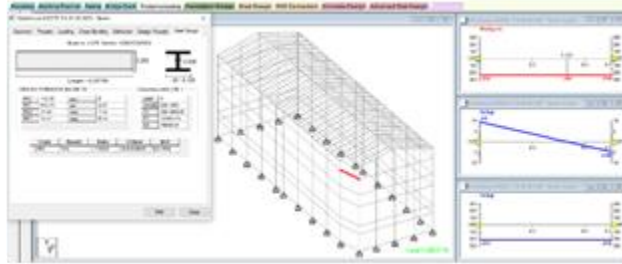
Gambar 13. Output beam end forces balok H250x125x6x9

Setelah itu dilakukan kontrol kekuatan terhadap beam yang mengalami beban terbesar tersebut, dalam hal ini beam 418. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa beam 418 profil H250x125x6x9 tidak memenuhi syarat kontrol kekuatan dengan nilai aktual ratio 1,1138.

Tabel 15. Kontrol output beam end forces balok H250x125x6x9

Beam no.	MZ (kgm)	Fy (kg)	FX (kgm)	MNZ (knm)	MNY (knm)	muz (knm)	mny (knm)	Ratio	Result
418	-240	9.6	289.08	31.92	15.57	7.52	0.55	1.1138	FAIL

Karena profil H250x125x6x9 tidak memenuhi syarat, maka dilakukan penggantian dimensi profil menjadi H250x250x9x14. Profil tersebut diinput sebagai beam 418 dalam STAAD Pro beserta beban yang bekerja.



Gambar 14. Output beam end forces balok H250x250x9x14

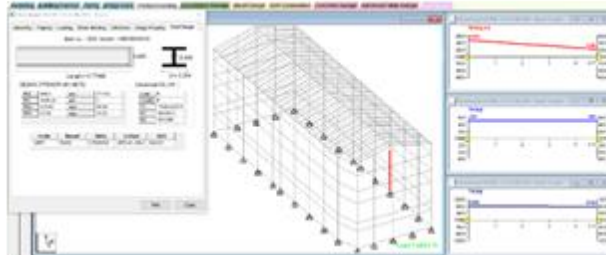
Setelah itu dilakukan kontrol kekuatan terhadap *beam* yang telah diganti tersebut, dalam hal ini *beam* 418. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa *beam* 418 profil H250x250x9x14 memenuhi syarat kontrol kekuatan dengan nilai aktual *ratio* 0,1996.

Tabel 16. Kontrol output beam end forces balok profil H250x250x9x14

Beam no.	MZ (kgm)	Fy (kg)	FX (kgm)	MNZ (knm)	MNY (knm)	mz (knm)	my (knm)	Ratio	Result
418	-313	137	151.82	185.37	96.64	26.52	5.43	0.1996	PASS

Perhitungan kolom

Perencanaan awal kolom menggunakan profil H400x200x8x13. Profil tersebut diinput dalam STAAD Pro beserta beban yang bekerja. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa profil *beam* 2288 searah sumbu Y (panjang profil 12,00 meter) menahan beban terbesar.



Gambar 15. Output beam end forces kolom H400x200x8x13

Setelah itu dilakukan kontrol kekuatan terhadap *beam* yang mengalami beban terbesar tersebut, dalam hal ini *beam* 2288. Hasil STAAD Pro menunjukkan bahwa *beam* 2288 profil H400x200x8x13 memenuhi syarat kontrol kekuatan dengan nilai aktual *ratio* 0,7689.

Tabel 17. Kontrol output beam end forces kolom H400x200x8x13

Beam no.	MZ (kgm)	Fy (kg)	FX (kgm)	MNZ (knm)	MNY (knm)	mz (knm)	my (knm)	Ratio	Result
2288	4924	541	11995.20	233.08	57.59	99.38	16.33	0.7689	PASS

Perubahan desain

Perubahan desain diperlukan apabila tidak terpenuhinya persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffnes*), stabilitas (*stability*) dan ketahanan terhadap lingkungan (*durability*). Perubahan desain awal dapat mengacu pada dasar perhitungan dari nilai-nilai perbandingan *actual ratio* bangunan eksisting dengan *actual ratio* dari permodelan ulang bangunan eksisting menggunakan STAAD Pro. Hasil dari perubahan desain yang mengacu pada STAAD Pro dapat dilihat dari tabel 18.

Tabel 18. Hasil analisis perbandingan *actual ratio* struktur

Keterangan	Dimensi awal	Actual ratio	Result	Dimensi rekomendasi	Actual ratio	Result
Gording	CNP200x75x20x3.2	0.447	Pass	n/a	n/a	n/a
Rafter	H350x175x7x11	1.1904	Fail	I450x175x11	0.7818	Pass
Balok	H250x125x6x9	1.1138	Fail	H250x250x9x14	0.1996	Pass
Kolom	H400x200x8x13	0.7689	Pass	n/a	n/a	n/a

4. Kesimpulan

Hasil dari analisis struktur dan perencanaan ketahanan gempa pada *warehouse* PT. X di Gresik menggunakan STAAD Pro dan standar perencanaan ketahanan gempa SNI 1726:2012, sebagai berikut:

1. Ketahanan struktur terhadap beban kombinasi sesuai SNI 1726:2012 menunjukkan adanya indikasi ketidakkuatan profil baja pada *rafter* yang menggunakan profil H350X175X7X11 dan pada balok yang menggunakan profil H250X125X6X9 dibuktikan dengan nilai *actual ratio* yang diizinkan melebihi 1.
2. Profil baja pada *rafter* dapat menggunakan I450X175X11 dengan nilai ratio 0,7818 dan profil baja pada balok dapat menggunakan H250x250x9x14 dengan nilai ratio 0,1996, karena kedua profil baja tersebut telah terindikasi *result pass*.

Referensi

- [1] M. R. AMIN, "ANALISA BANGUNAN GEDUNG RANGKA BAJA BERTINGKAT DENGAN MENGGUNAKAN BRACING," UNIMED, 2018.
- [2] B. S. J. S. Nasional, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung," vol. 1726, p. 2012, 2012.
- [3] B. S. J. J. B. Nasional, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726: 2012," 2012.
- [4] D. P. J. P. Y. P. M. B. G. B. Umum, Indonesia, "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983," 1983.
- [5] A. Salim and A. B. J. Y. K.-M. Siswanto, "Rekayasa Gempa," 2018.
- [6] B. S. J. J. Nasional, BSN, "SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung," 2002.
- [7] A. Bhosale, A. P. Hatkhambkar, R. V. Katkar, S. B. Babar, S. P. J. I. J. o. I. S. Gorivale, and R. T. Volume, "Analysis and Design of Multi-Storey Building by using STAAD-Pro V8i," vol. 3.
- [8] U. Silalahi, "Metode dan Metodologi Penelitian," ed: Bina Budhaya, 1999.
- [9] H. Usman and P. S. Akbar, *Metodologi penelitian sosial*. Bumi Aksara, 2008.