

EVALUASI DAN OPTIMASI KEMAMPUAN KINERJA STRUKTUR BAJA DENGAN ANALISIS *PUSHOVER* MENGGUNAKAN PROGRAM SAP2000 (Studi Kasus Pabrik Gula *Sugar Godown* di Lampung)

(*Evaluation And Optimization Of Performance Ability Of Steel Structure With Pushover Analysis Using SAP2000 Program (Case Study of Sugar Godown Sugar Factory in Lampung)*)

Davin Pradipta¹ Niken Warastuti¹

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Pancasila

Email: davpradipta@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah rawan gempa. Bencana gempa merupakan gejala alam yang bersifat destruktif. Kerusakan yang ditimbulkan sangat besar terutama dalam bidang Struktur baja bangunan. Pengaruh gempa menjadi faktor penting dalam perencanaan desain struktur bangunan. Bangunan eksis yang diklaim tahan gempa oleh perencana, belum tentu hasilnya sesuai harapan. Seiring berkembangnya kemajuan teknologi dalam bidang civil engineering, muncul konsep dan metode baru dalam analisis dan perencanaan bangunan tahan gempa salah satunya konsep Performance Based Seismic Evaluation (PBSE) dengan metode analisis beban dorong statik atau analisis Pushover. Metode ini mampu memberikan informasi pola keruntuhan bangunan eksis ketika terbebani gaya gempa yang melebihi kapasitas bangunan, apakah terjadi keruntuhan langsung atau bangunan mampu berperilaku nonlinear (progresif) sebelum terjadi keruntuhan total. Tujuan penulisan tugas akhir adalah evaluasi dan optimasi kinerja terhadap beban pada bangunan pabrik untuk mengetahui kapasitas gempa efektif struktur dan perilakunya dengan memperlihatkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode Pushover berdasarkan peraturan code Applied Technology Council (ATC-40) serta menentukan level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan code tersebut. Dari hasil penelitian, didapatkan nilai performance point $V = 61.027$ Ton dan $D = 0.074$ m. Struktur bangunan mampu memberikan perilaku nonlinear yang ditunjukkan fase awal dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Level kinerja struktur masuk kriteria Immediate Occupancy yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktural dan bangunan dapat langsung digunakan kembali.

Kata kunci: Pushover, Beban mati, Beban Hidup, Analisis Non-Linier, Pabrik Gula

ABSTRACT

Indonesia is a country which is in an earthquake prone area. Earthquake disasters are destructive natural phenomena. The damage caused is very large, especially in the field of steel structures of buildings. The effect of earthquakes is an important factor to planning the design of building structures. Existing buildings are claimed to be earthquake resistant by planners, but not necessarily the results as expected. Along with the development of technological advances in the field of civil engineering, new concepts and methods emerged in the analysis and planning of earthquake resistant buildings, one of which was the concept of Performance Based Seismic Evaluation (PBSE) with static thrust load analysis or Pushover analysis. This method is able to provide information on the pattern of collapse of buildings that exist when burdened with earthquake forces that exceed the capacity of the building, whether direct collapse or building is capable of behaving nonlinear (progressive) before total collapse occurs. The purpose of the final assignment is to evaluate and optimize the performance of the load on the factory building to determine the effective capacity of the structure and behavior by showing the scheme of plastic joints on the beam and column elements with the Pushover method based on the Applied Technology Council (ATC-40) code and determining the level structural performance of earthquake prisoners based on the code. From the results of the study, it was found that the performance point is $V = 61.027$ Ton and $D = 0.074$ m. The structure of the building is able to provide nonlinear behavior that is indicated by the initial phase and the majority of the occurrence of plastic joints occurs in the beam element and then the column element. Structural performance levels are included in the Immediate Occupancy criteria, which means that minor structural damage occurs and the building can be reused immediately again.

Keywords: Pushover, Dead Load, Live Load, Non-linear Analysis, Sugar Factory

PENDAHULUAN

Perencanaan bangunan tahan gempa telah menjadi perhatian khusus mengingat telah banyak terjadi gempa cukup besar akhir-akhir ini. Terbaru di tahun 2018 ini, tercatat dua gempa besar terjadi di Indonesia yaitu di Lombok, NTB (19 Ags., skala 7.0) dan gempa Palu (28 Sept., skala 7.4) yang juga disertai Tsunami. Dengan adanya peristiwa tersebut, maka benar bahwa Indonesia merupakan daerah rawan akan terjadinya gempa serta tsunami. Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan untuk mampu bertahan terhadap gempa.

Analisis pushover biasa digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan pada saat terjadi gempa dengan direpresentasikan menggunakan kriteria kinerja sesuai aturan yang ditetapkan oleh Vision 2000 (SEAOC, 1995) dan NEHRP (BSSC, 1995). Sehingga perencanaan ini biasa disebut dengan perencanaan tahan gempa berbasis kriteria kinerja. Kriteria kinerja akan memberitahukan perilaku keruntuhan bangunan pada saat terjadi gempa sesuai dengan kondisi yang ada. Dengan mengetahui kriteria kinerja bangunan, perencana maupun pemilik bangunan dapat mengetahui seberapa besar kerusakan yang akan terjadi, dengan begitu pemilik bangunan dapat mengantisipasi biaya perbaikan yang akan dikeluarkan.

Bangunan pabrik gula Sugar Godown PT. Pratama Nusantara Sakti dirancang dengan baja struktural menggunakan standar SNI 1729:2015 tentang spesifikasi untuk Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (performance-based seismic design) karena bangunan tersebut berada di zonasi gempa rawan, sehingga penulis jadikan dasar alasan bangunan tersebut ditinjau dan evaluasi. Perkembangan teknologi sangat membantu civil engineer dalam perencanaan dan analisis terhadap kinerja suatu struktur bangunan. Tersedianya program SAP 2000 dan ETABS mampu menyederhanakan persoalan dalam bentuk pemodelan yang sebelumnya sangat kompleks apabila dikerjakan secara konvensional. Oleh sebab itu penulis melakukan penelitian evaluasi kinerja seismik bangunan baja pabrik gula Sugar Godown dengan analisis pushover menggunakan bantuan program SAP 2000 yang kemudian membahas output yang dihasilkan program tersebut.

Adapun maksud dari penulisan penelitian ini yakni untuk mengevaluasi dan optimasi kinerja struktur baja dengan analisis pushover menggunakan program SAP2000 serta tujuan dari penelitian ini adalah :

- Menghitung performance point bangunan pabrik gula sugar godown menggunakan program SAP 2000
- Memperlihatkan dan mengelompokkan kriteria kinerja bangunan berdasarkan hasil output perhitungan program SAP 2000.
- Mengetahui perilaku struktur serta pola keruntuhan bangunan pabrik sehingga dapat

melakukan tindakan pada joint – joint yang mengalami kerusakan serta kehancuran.

- Menerapkan konsep desain strong column weak beam guna menjadikan sistem struktur yang fleksible serta mampu berdeformasi saat terjadi gempa sehingga menghindari keruntuhan secara menyeluruh.

METODOLOGI

Pendekatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pendekatan kualitatif yaitu analisa pushover menggunakan program SAP2000 dan Kuantitatif yaitu menghitung kekuatan struktur pada bangunan Pabrik Gula Sugar Godown yang berada di kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung. Dengan Spesifikasi sebagai berikut :

a. Struktur bangunan pabrik satu lantai menggunakan material baja serta portal memanjang yang tipikal dengan mutu baja = ST 37 (DIN), berkekuatan tarik minimum = 37 kg/mm²

b. Titik tertinggi atap (rafter) 15 m , bentang jarak antar kolom 7.5 m untuk arah Y dan 6.5m untuk arah X, serta luas bentang portal memanjang 78 m x 120 m.

c. Profil material baja yang digunakan pada struktur utamanya, yaitu :

- Kolom truss : 2xUNP 250.90.9.13

- Tie truss : 2xWF 250.125.6.9

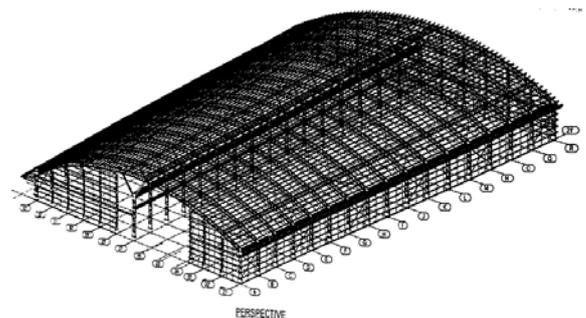
- Rafter (atap) : 2xUNP 200.80.7,5.11

- Tierafter truss: 2xCT 100.100.5,5.8

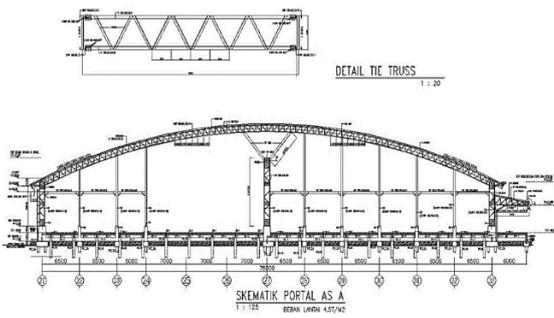
d. Fungsi bangunan pabrik sebagai pengolahan (sugar godown) dari total area pabrik pengolahan tebu menjadi gula pasir dengan beban hidup terdistribusi merata minimum = 11,97 kN/m² (Klasifikasi Pabrik Berat) dan beban hidup terpusat minimum = 13,40 kN (Klasifikasi Pabrik Berat) (SNI 1727:2013)

e. Beban mati yang terjadi yaitu berat sendiri struktur termasuk arsitektur, MEP, dan Plumbing adalah 3589,23 kN (hitungan terlampir) yang di lakukan penyederhanaan (simplifikasi) menjadi 2942,16 KN (hitungan SAP2000 terlampir) dengan standar umum berat jenis baja = 7850 Kg/m³.

Gambar Struktur Gedung. Adapun data gambar struktur gedung dijelaskan pada metodologi penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1. Isometrik Bangunan Pabrik Gula



Gambar 2. Potongan Portal A Bangunan Pabrik

Selain gambar struktur juga terdapat data dokumentasi lapangan selama periode erection struktur baja bangunan pabrik gula Sugar Godown sebagai berikut:



Gambar 3. Foto pelaksanaan erection minggu ke-12



Gambar 4. Foto pelaksanaan erection minggu ke-14

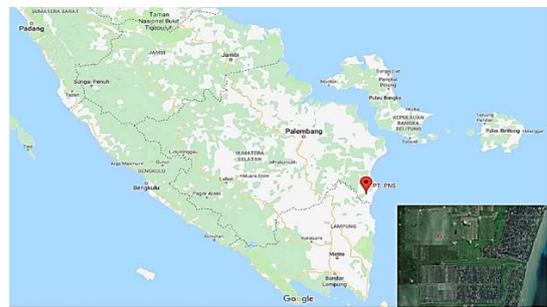


Gambar 5. Foto pelaksanaan erection minggu ke-16



Gambar 6. Foto pelaksanaan erection minggu ke-24

Lokasi Penelitian. Lokasi bangunan pabrik di Desa Mesuji, Sungai Menang, Kab. Tulang Bawang, Prov. Lampung dengan wilayah gempa yang berdiri pada kondisi tanah sedang, yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 7. Lokasi bangunan Pabrik Gula Sugar Godown di Lampung

Tahapan Analisis. Metode penelitian ini menggunakan analisis nonlinier pushover. Analisis menggunakan program SAP 2000. Untuk mewujudkan uraian diatas maka langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.

- a) **Studi Literatur.** Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dalam analisis nonlinier pushover. Mempelajari semua yang berhubungan dengan analisis nonlinier pushover. Buku acuan yang dipakai antara lain SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung dan Bangunan Lain SNI 03-1727- 2013, Spesifikasi untuk bangunan Gedung Baja Struktural SNI 03-1729-2015, Applied Technology Council for Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume-1(ATC-40), Federal Emergency Management Agency for Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings (FEMA-356), Uniform Building Code for Earthquake Design volume-2(UBC,1997) dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis pushover.
- b) **Pengumpulan Data.** Pengumpulan data dan informasi bangunan pabrik gula yang diteliti, baik data sekunder maupun data primer. Data yang didapat adalah gambar For Construction, Shop Drawing bangunan pabrik Sugar Godown, dan

rencana anggaran biaya (RAB) bangunan pabrik tersebut. Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan SAP 2000. Shop Drawing digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada.

c) **Permodelan 3D.** Pembuatan model struktur bangunan dengan pemodelan 3D sesuai dengan data dan informasi dari bangunan pabrik gula. Pemodelan ini dibuat sesuai dengan Shop Drawing yang ada. Perlu diketahui pembuatan model 3D yang ada pada program SAP 2000 mempunyai aturan sistem koordinat global dan lokal. Sistem koordinat global adalah sistem koordinat 3 dimensi yang saling tegak lurus dan perjanjian tanda yang digunakan memenuhi kaidah aturan tangan kanan. Sistem ini memiliki 3 sumbu yang saling tegak lurus yaitu sumbu X,Y,Z. Dalam pemodelan ini, sistem koordinat lokal yang digunakan untuk joint, constraint dan nonlinier hinge properties sama dengan sistem koordinat global X, Y, dan Z. Sistem koordinat lokal elemen yang dipakai pada penelitian ini dinyatakan dengan sumbu lokal 1, sumbu lokal 2, dan sumbu lokal 3 di mana :

- Sumbu lokal 1 adalah arah aksial.
- Sumbu lokal 2 searah sumbu global +Z untuk balok dan searah sumbu global +X untuk kolom.
- Sumbu lokal 3 mengikuti kaidah aturan tangan kanan, di mana sumbu 3 tegak lurus dengan sumbu lokal 1 dan sumbu lokal 2.

d) **Perhitungan Pembebanan.** Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasar pemodelan yang ada dimana beban sendiri didalam Program SAP 2000 dimasukkan dalam load case DEAD, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program SAP 2000 dalam load case Super Dead. Perhitungan berat sendiri ini dalam program SAP 2000 yang untuk dead adalah 1, sedangkan super dead adalah 0, dimana beban untuk dead telah dihitung secara otomatis oleh program SAP 2000, sedangkan untuk beban Super dead bebannya perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada. Beban hidup yang dimasukkan dalam program SAP 2000 dinotasikan dalam LIVE. Beban hidup ini mendapatkan reduksi beban gempa. Beban hidup disesuaikan dengan peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program SAP 2000 yang untuk LIVE adalah 0, di mana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

e) **Analisa Respon Spektrum.** Menganalisis Model struktur dengan Respon Spektrum untuk mendapat kurva respon spectrum sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program SAP 2000. Data yang dibutuhkan dalam analisa respon spectrum adalah nilai Ca dan nilai Cv. Dimana nilai Ca (Peak Ground Acceleration)

didapat dari percepatan muka tanah maksimum pada suatu wilayah. Pada wilayah gempa dengan struktur tanah sedang didapat nilai Ca sebesar 0.22 sesuai besarnya Ao (Percepatan Puncak Muka Tanah).

$$A_m = 2.5 A_o \dots\dots\dots(1)$$

Untuk waktu getar alami sudut Tc (tanah sedang : 0.6) faktor respons gempa C ditentukan dengan persamaan berikut :

Untuk $T < T_c$ maka $C = A_m$

f) **Perhitungan Beban Gempa.** Dalam menganalisis elemen struktur bangunan yang ditinjau, beban gempa dianggap sebagai beban statis ekuivalen pada tiap lantainya. Dalam subbab ini diuraikan mengenai prosedur statis ekuivalen untuk mendapatkan distribusi gaya lateral gempa tiap lantainya.

Perhitungan waktu getar alami struktur (T). Perhitungan waktu getar struktur ini dihitung secara empiris dengan rumus :

$$T = C_t \cdot (H_n)^\beta \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- $C_t = 0.028$ untuk struktur rangka baja
- $H_n =$ tinggi puncak bag. utama struktur (m)
- $\beta = 0.80$ untuk bangunan baja

Pembatasan waktu getar alami fundamental (T1). Untuk mencegah penggunaan struktur yang fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental dari struktur gedung harus dibatasi bergantung pada koefisien ζ untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya (n) dirumuskan sebagai berikut:

$$T_1 < \zeta n \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- $T_1 =$ Waktu getar alami fundamental dari struktur gedung
- $\zeta =$ Koefisien untuk wilayah gempa struktur gedung tanah sedang (0.18)
- $n =$ Jumlah tingkat pada bangunan

Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal. Struktur harus dirancang agar mampu menahan gaya geser dasar akibat gempa yang dihitung dengan rumus :

$$V = \frac{C_1 I}{R} W t \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- $V =$ Gaya geser dasar nominal
- $C_1 = C$ (Faktor respons gempa dari spektrum respons)
- $I =$ Faktor keutamaan (1.5 untuk bangunan pabrik)
- $R =$ Faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan senilai 8.0 karena bangunan daktail.

W_t = Berat total bangunan, termasuk beban hidup yang sesuai.

Gaya geser dasar horizontal akibat gempa (V) harus dibagikan kesepanjang bangunan menjadi beban – beban horizontal yang bekerja pada masing – masing tingkat dengan rumus :

$$F_i = \frac{W_i Z_i I}{\sum_{i=1}^n W_i Z_i} V \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

W_i = Berat lantai tingkat ke – i , termasuk beban hidup yang sesuai

Z_i = Ketinggian lantai tingkat ke – i , diukur dari taraf penjepitan lateral

n = Nomor lantai tingkat paling atas

V = Gaya geser dasar nominal

g) Penentuan Sendi Plastis. Pemasukan data sendi plastis pada model struktur bangunan sesuai dengan penentuan tempat terjadinya sendi plastis. Sendi plastis diharapkan terjadi pada balok utama dan kolom. Untuk balok dikenakan beban momen arah sumbu lokal 3 (M_3), sedangkan pada kolom dikenakan beban gaya aksial (P) dan momen (M) Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 (PM_2M_3).

h) Analisis Pembebanan Nonlinier Pushover. Pada static pushover case dibuat dua macam pembebanan, dimana yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi. Dalam analisis ini beban gravitasi yang digunakan adalah beban mati dengan koefisien 1 dan beban hidup dengan koefisien 1 (dianggap analisis tanpa dipengaruhi koefisien apapun). Setelah kondisi pertama selesai dijalankan, pembebanan bangunan dilanjutkan dengan kondisi kedua yakni akibat beban lateral. Pola beban lateral yang mewakili gaya inersia akibat gempa pada tiap lantai, yang diperoleh dari pembebanan dengan pola beban mengikuti mode pertama struktur. Arah pembebanan lateral dilakukan searah dengan sumbu utama bangunan.

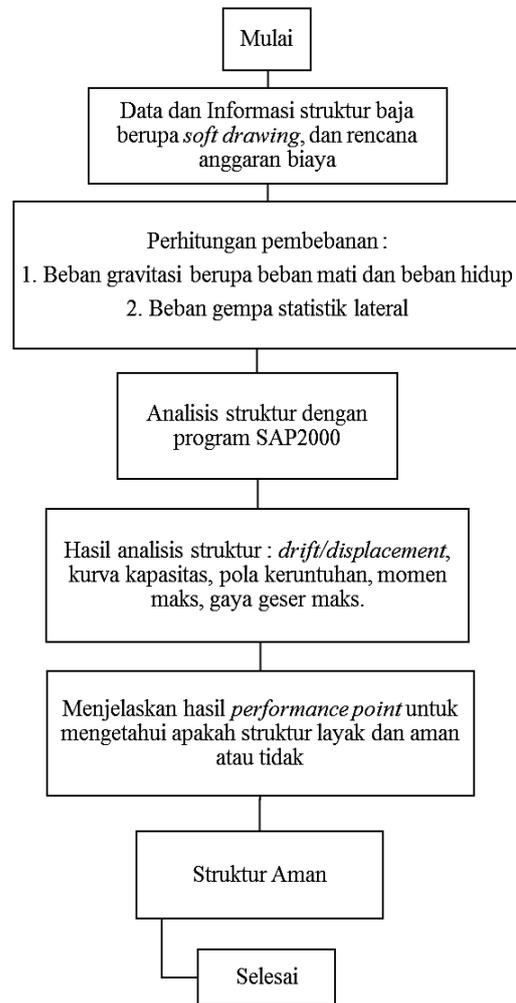
Hasil pushover disimpan secara multiple states dengan jumlah minimum 10 steps dan maksimum 100 steps. Untuk simapngan target yang ingin dicapai digunakan sesuai dengan default program SAP 2000 yaitu sebesar 4% kali tinggi bangunan total. Pada penelitian ini pushover case untuk beban lateral akibat gempa diberi nama PUSH.

i) Analisis Kinerja Struktur dari Hasil Analisis Pushover. Pada program SAP 2000, hasil analisis didapat Pushover Kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada level tertentu, kurva respon spektrum yang sesuai dengan wilayah gempa yang ada, diagram leleh sendi plastis pada balok dan kolom.

Respon spektrum dalam format ADRS yang diplotkan dengan kurva kapasitas didapatkan Performance point. Proses konversi dilakukan sepenuhnya oleh program SAP 2000.

j) Pembahasan Hasil Analisis Pushover dari Program SAP 2000. Dari performance point didapatkan nilai displacement efektif, gaya geser dasar, waktu getar efektif dan damping efektif. Dari nilai displacement akan diketahui kriteria kinerja seismik struktur berdasarkan ATC-40. Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat dibuat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Untuk lebih jelas mengenai tahapan serta metodologi yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alur berikut ini:



Gambar 8. Diagram Alur Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil serta pembahasan dari penelitian ini terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

Perhitungan Berat Sendiri Bangunan. Berikut merupakan konfigurasi komponen struktural bangunan pabrik. Dari data perencana didapat bahwa total berat actual struktur baja bangunan pabrik gula sugar

godown yaitu sebesar 366,071.61 Kg (366.071 Ton) = 3589.23 kN

Adapun mengenai mutu bahan material yang digunakan untuk bangunan pabrik ini yaitu :

- a. Mutu Beton = 29,05 Mpa (K-350)
- b. Mutu Baja Tulangan = $\varnothing < 10$ mm BJTP U 24
 $\varnothing > 10$ mm BJTD U 40
- c. Mutu Baja Profil ASTM – A36 / ST.37 (DIN)
- d. Mutu Baut HSB (High Strength Bolt) – A325

Beban Mati. Yaitu beban dengan besar yang konstan dan berada pada posisi yang sama setiap saat. Beban ini terdiri dari berat sendiri struktur dan beban lain yang melekat pada struktur secara permanen pada bangunan Pabrik Gula Sugar Godown, terdiri dari :

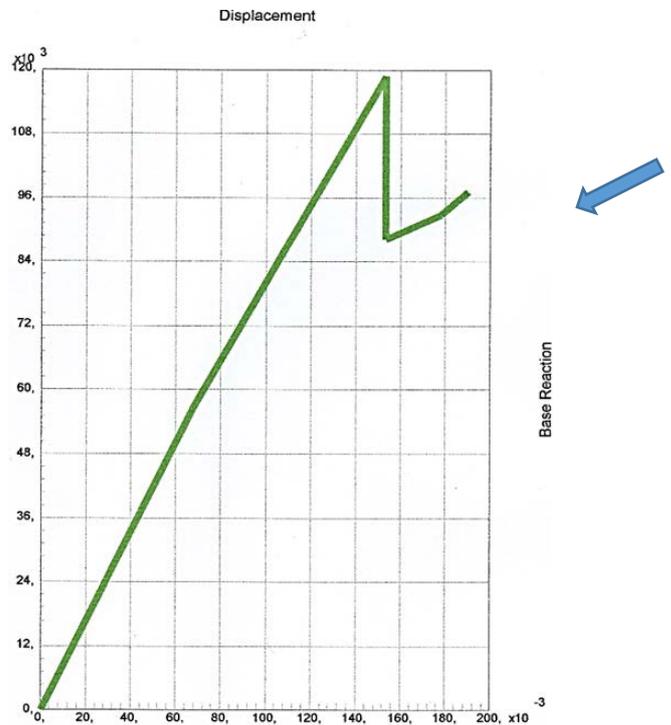
- o Baja struktural : $7850 \text{ kg/m}^3 = 7.850 \text{ t/m}^3$
 - o Beton bertulang : $2400 \text{ kg/m}^3 = 2.400 \text{ t/m}^3$
 - o Pasir (kering udara sampai lembab): $1800 \text{ kg/m}^3 = 1.800 \text{ t/m}^3$
 - o Adukan semen/spesi: $21 \text{ kg/m}^3 = 0.021 \text{ t/m}^3$
 - o Fascia (penutup dinding): $21 \text{ kg/m}^2 = 0.021 \text{ t/m}^2$
 - o Roof & wall insulation: $10 \text{ kg/m}^2 = 0.010 \text{ t/m}^2$
 - o Sheeting (penutup atap): $50 \text{ kg/m}^2 = 0.050 \text{ t/m}^2$
 - o Pasangan bata merah: $1700 \text{ kg/m}^3 = 1.700 \text{ t/m}^3$
 - o Koefisien reduksi beban mati: = 0.9
- (Sumber : SNI 03-1727-2013)

Beban Hidup. Beban hidup merupakan beban yang besar dan posisinya dapat berubah-ubah. Beban hidup yang dapat bergerak dengan tenaganya sendiri disebut beban bergerak, seperti kendaraan, manusia, dan crane. Sedangkan beban yang dapat dipindahkan antara lain furniture, material dalam gudang, dll. Jenis beban hidup lain adalah angin, hujan, ledakan, gempa, tekanan tanah, tekanan air, perubahan temperatur, dan beban yang disebabkan oleh pelaksanaan konstruksi. Berikut beban hidup yang bekerja pada bangunan Pabrik Gula Sugar Godown:

- Koefisien reduksi beban gempa (pabrik berat) = 0.40
- Beban air hujan ($40-0.8\alpha$) kg/m^2 : ($40-(0.8 \times 25)$) = 12 kg/m^2
- Untuk beban air hujan diambil : $20 \times 0.3 \text{ kg/m}^2 = 0.006 \text{ t/m}^2$
- Beban hidup lantai (pabrik) : $250 \times 0.3 \text{ kg/m}^2 = 0.075 \text{ t/m}^2$
- Lantai : $800 \times 0.3 \text{ kg/m}^2 = 0.240 \text{ t/m}^2$
- Beban dampak mesin pabrik : $300 \times 0.3 \text{ kg/m}^2 = 0.90 \text{ t/m}^2$

Dimana α = sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m^2 dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya lebih besar dari 50°. Maka yang diambil adalah 20 kg/m^2 .

Hasil Running Program SAP2000. Dari hasil running analisa pushover tersebut didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V) yang terjadi di permodelan program SAP2000 tersebut. Kurva tersebut dapat dengan mudah kita akses melalui menu display sesaat setelah analisis program selesai di jalankan.



Gambar 9. Kurva Kapasitas dalam bentuk grafik

Pada Gambar 9. terlihat bahwa pada saat perpindahan mencapai 0,0012 m kondisi struktur bangunan pabrik gula masih bersifat elastis, kemudian berperilaku in-elastis saat perpindahan mencapai 0,0120 m. Selanjutnya struktur mulai mengalami keruntuhan dengan ditandai penurunan kurva dengan tajam ke arah bawah.

Untuk lebih jelasnya akan ditunjukkan di Gambar 9. diatas ini yang memperlihatkan dengan jelas grafik kurva kapasitas tersebut. Ketika struktur mulai mengalami keruntuhan ditunjukkan oleh anak panah berwarna biru.

Dari grafik kurva kapasitas spektrum ATC-40 yang didapat dari hasil analisis, terlihat perpotongan garis kuning dengan garis hijau kurva pushover merupakan titik performance point dari bangunan pabrik gula sugar godown ini yang ditunjukkan dengan anak panah berwarna jingga. Maka dari hasil analisis pushover pada pemrograman SAP2000 didapat nilai Performance Point dalam tabel berikut ini :

Tabel 2. Nilai Performance Point

Deskripsi	Nilai Performance Point
V (Kg), D (m)	61.027 (Ton) ; 0,074 (m)
Sa (g), Sd (m)	0,236 (g) ; 0,161 (m)
Teff (detik), βeff (%)	1,54 (detik) ; 0,053 (%)

Maka di dapat beberapa paramater untuk mengukur kondisi kriteria kinerja bangunan pabrik gula tersebut, yakni :

1. Displacement Limit menurut acuan SNI 1726-2012 ditentukan = $2\% \times H = 0,02 \times 15 = 0,3 \text{ m} > D = 0,074 \text{ m}$ maka kinerja displacement dari bangunan pabrik gula tersebut bisa di katakan **baik**.
2. Didapatkan nilai gaya geser dasar efektif pada keadaan linier lebih kecil dari nilai gaya geser dasar rencana ($V = 61.027 \text{ (Ton)} < V_{rencana} = 125.836 \text{ (Ton)}$)
3. Kinerja gedung menurut ATC-40 tabel 11-12 dibawah ini sebagai berikut :
 - o Maksimal Total Drift $Dt/H = 0.074/15=4.933 \times [10]^{-3}$ Sehingga level kriteria kinerja pabrik gula adalah **Immediate Occupancy**.
 - o Maksimal Inelastic Drift $(Dt-D1)/H_{tot} = (0.074-0.025)/15=3.267 \times [10]^{-3}$ Maka level kriteria kinerja bangunan pabrik gula Non-linier adalah **Immediate Occupancy**.

Dari parameter diatas maka kinerja bangunan pabrik gula saat mencapai gaya geser dasar masuk pada level **Immediate Occupancy** yaitu yakni ada kerusakan yang pada struktur dimana kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan bangunan langsung dapat digunakan kembali.

KESIMPULAN

Setelah menganalisis dan mengevaluasi seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka penulis dapat mengambil kesimpulan terhadap evaluasi dan optimasi kinerja seismik struktur baja pabrik gula Sugar Godown yaitu didapatkan nilai performance point $V = 61.027 \text{ Ton}$ dan $D = 0.074 \text{ m}$, nilai $Sa = 0.236 \text{ g}$ dan $Sd = 0.161 \text{ m}$ serta $T_{eff} = 1.54 \text{ detik}$ dan $\beta_{eff} = 0.053\%$. Kemudian bangunan ini termasuk dalam level kinerja **Immediate Occupancy** yakni ada kerusakan yang pada struktur dimana kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan bangunan langsung dapat digunakan

kembali. Lalu dari kurva kapasitas tinjauan arah Y memberikan gambaran perilaku struktur mulai dari tahap kondisi elastis, in-elastis kemudian mengalami keruntuhan yang ditunjukkan kurva dengan penurunan tajam. Dan yang terakhir didapatkan bahwa konsep desain strong colum weak beam telah dipenuhi. Hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen balok yang kemudian pada saat mencapai performance point mayoritas elemen balok terbentuk sendi plastis kemudian pada sebagian elemen balok mencapai kondisi batas in-elastis.

REFERENSI

- ATC-40.** (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I. California. Seismic Safety Commission State of California.
- Chen, W F and Lui, E M.** (2006). Earthquake Engineering for Structural Design. New York : CRC Press.
- Chopra, Anil.K.** (1995). Dynamic of Structure . New Jersey. Englewood Cliffs.
- Dewobroto, Wiryanto.** (2007). Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000 Edisi Baru. Jakarta : PT Elex Media Komputindo.
- Dewobroto, Wiryanto.** (2013). Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000. Jakarta : Lumina Press dan Penerbit Dapur Buku.
- Dewobroto, Wiryanto.** "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover". Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pelita Harapan. Jakarta.
- Erol, Kalkan., Sashi K Kunnath.** (2004). Method of Modal Combinations for Pushover Analysis of Buildings. Canada. World Conference on Earthquake Engineering. Cited in https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2713.pdf. [18 November 2018]
- FEMA-273.** (1997). NEHRP Guidelines For the Seismic Rehabilitation of Buildings. Virginia. American Society of Civil Engineers .
- FEMA-356.** (2000). Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings. Virginia. American Society of Civil Engineers .
- FEMA-440.** (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Virginia. American Society of Civil Engineers.
- MC Lai, YC Sung.** (2007). A Study on Pushover Analysis of Frame Structure infilled with low – rise reinforced concrete wall. Taipei. Departement of Civil Engineering National Taipei University of Technology Taipei. Cited in https://www.researchgate.net/publication/232015870_A_Study_on_Pushover_Analysis_of_Frame_Structure_Infilled_with_Low-Rise_Reinforced_Concrete_Wall. [21 November 2018]

Standar Nasional Indonesia. (2012). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. SNI 1726-2012. Jakarta : Badan Standar Nasional Indonesia.

Standar Nasional Indonesia. (2013). Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung dan Bangunan Lain. SNI 1727-2013. Jakarta : Badan Standar Nasional Indonesia.

Standar Nasional Indonesia. (2013). Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. SNI 1729-2015. Jakarta : Badan Standar Nasional Indonesia.