

Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover Analysis*

**Zainal Arifin¹⁾
Suyadi²⁾
Surya Sebayang³⁾**

Abstract

In a fact, the development of Indonesian building codes demand higher design earthquake load. This condition generates the need for retrofitting in existing building that was design with older building codes, in purpose to acquire the safe building performance. The significant load increase shown in the latest building code (SNI 1726-2012) gives the urgency to perform seismic risk assessment and retrofit design for this building.

Seismic risk of the building is determined from the performance level through static non-linear analysis (pushover) based on the design earthquake of the new code (SNI 1726-2012). This result means that the damage control performance level, unless retrofitting is performed on each of the deficient element.

Keywords : SNI 1726-2012, pushover, damage control, load of earthquake.

Abstrak

Faktanya, peraturan kegempaan Indonesia menunjukkan peningkatan beban gempa rencana. Kondisi ini menyebabkan bangunan eksisting yang direncanakan dengan peraturan lama membutuhkan usaha perkuatan untuk memastikan kinerjanya berada pada tingkat yang aman. Adanya peningkatan beban gempa yang cukup signifikan dari peraturan gempa terbaru (SNI 1726-2012) memberikan alasan yang kuat untuk melakukan evaluasi kerawanan dan perencanaan untuk gedung ini.

Dalam analisis yang dilakukan, kerawanan bangunan dinilai dari kinerja yang ditunjukkan model bangunan pada analisis non-linier statik (*pushover*) berdasarkan beban gempa (SNI 2012). Hasil analisis *pushover* yang telah menunjukkan bahwa gedung POP Hotel memberikan kinerja *damage control*, namun dengan sejumlah kecil elemen struktur defisien.

Kata kunci : SNI 03-1726-2012, pushover, damage control, beban gempa.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi, khususnya untuk daerah-daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi seperti di Indonesia. Berdasarkan pengalaman yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dalam jumlah yang cukup besar. Oleh karena itu, bangunan harus direncanakan untuk dapat memberikan kinerja minimal *life safety*, di mana bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan namun tidak mengalami keruntuhan. Dengan demikian, kemungkinan timbulnya korban jiwa dapat diminimalisasi.

Tuntutan akan ketahanan terhadap gempa juga harus diperhatikan untuk bangunan-bangunan eksisting, khususnya bangunan-bangunan lama yang secara material telah mengalami degradasi, dan direncanakan dengan peraturan lama. Bangunan-bangunan seperti ini seringkali memiliki kerawanan gempa yang tinggi. Oleh karena itu, sebuah tindakan harus dilakukan untuk menghasilkan kinerja bangunan yang aman dengan tetap mempertahankan fungsi bangunan eksisting. Cara yang mungkin dilakukan adalah dengan melakukan perkuatan pada bangunan atau dengan membongkar dan mendirikan bangunan baru. Berdasarkan pertimbangan biaya dan waktu konstruksi, pilihan untuk melakukan perkuatan pada bangunan akan lebih menguntungkan, dengan catatan hasil evaluasi bangunan eksisting menunjukkan bahwa bangunan masih layak untuk diperkuat.

Mengingat dalam waktu dekat sebuah peraturan gempa baru (SNI 1726-2012) akan diberlakukan menggantikan SNI 03-1726-2002, maka tentunya perencanaan perkuatan bangunan juga harus memperhitungkan beban gempa menurut peraturan baru ini. Peraturan kegempaan SNI 1726-2012 memberikan beban gempa dengan periode ulang 2500 tahun, sehingga percepatan gempa rencana untuk seluruh wilayah Indonesia akan meningkat. Mengacu pada SNI 1726-2012, percepatan gempa rencana untuk kota Bandar Lampung mengalami peningkatan yang cukup berarti. Sehingga diperkirakan gedung POP Hotel pada kondisi eksisting akan menunjukkan tingkat kerawanan yang lebih tinggi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola keruntuhan dan perpindahan saat diberikan beban gempa pada bangunan tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Bangunan Tahan Gempa

Secara umum, menurut UBC 1997 bangunan dikatakan sebagai bangunan tahan gempa apabila memenuhi kriteria berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2010):

1. Struktur yang direncanakan harus memiliki kekakuan lateral yang mencukupi untuk dapat mempertahankan kondisi elastik ketika menerima beban gempa kecil.
2. Struktur yang direncanakan harus dapat menahan beban gempa menengah tanpa terjadinya kerusakan pada elemen struktural. Kerusakan pada elemen nonstruktural diperbolehkan untuk terjadi.

Struktur yang direncanakan diperbolehkan untuk mengalami kerusakan pada elemen strukturalnya ketika menerima beban gempa besar. Namun struktur keseluruhan tidak diperbolehkan mengalami keruntuhan.

2.2. Kinerja Bangunan

Tingkat kinerja sebuah bangunan menunjukkan kondisi bangunan setelah mengalami gempa. Kondisi ini dijelaskan melalui deskripsi kerusakan fisikal yang dialami bangunan, tingkat bahaya akibat kerusakan yang terjadi terhadap pengguna bangunan, dan kemampuan layan bangunan pasca gempa. Dalam dokumen ATC 40, tingkat kinerja bangunan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori (*Applied Tecnology Council, 1996*):

- 1) *Immediate Occupancy*, SP-1: Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
- 2) *Damage Control*, SP-2: Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
- 3) *Life Safety*, SP-3: Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
- 4) *Limited Safety*, SP-4: Kondisi bangunan tidak sebaik level life safety dan tidak seburuk level structural stability, termasuk ketika level life safety tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
- 5) *Structural Stability*, SP-5: Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan nonstruktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.
- 6) *Not Considered*, SP-6: Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

2.3. Pembebanan dan Perilaku Dinamik Model Struktur

2.3.1. Beban Gravitasi

Beban gravitasi yang diaplikasikan pada model bangunan meliputi (Badan Standardisasi Nasional, 2013):

2.3.1.1. Beban Hidup (LL)

Beban hidup didefinisikan sebagai beban yang sifatnya tidak membebani struktur secara permanen, misalnya beban akibat pengguna bangunan .

2.3.1.2. Beban Mati Akibat Berat Sendiri (DL)

Beban mati didefinisikan sebagai beban yang ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur bangunan; balok, kolom, dan pelat lantai. Beban ini akan dihitung secara otomatis oleh program SAP 2000 Ver. 14.

2.3.1.3. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen tambahan yang bersifat permanen.

2.3.1.4. Beban Lateral

Beban horizontal yang salah satunya terdiri dari beban gempa. Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan dari pergerakan tanah akibat gempa itu. Pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan analisa dinamik, maka yang diartikan dalam beban gempa itu gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh tanah akibat gempa itu sendiri. Beban gempa yang dimaksud meliputi:

- Beban statik ekuivalen
- Beban respon spektrum

2.3.2. Perilaku Dinamik Model Struktur

Selain ditentukan oleh kekakuan, perilaku dinamik bangunan juga sangat ditentukan oleh massa bangunan. Massa bangunan dalam hal ini akan sangat ditentukan oleh beban gravitasi yang bekerja. Untuk kasus ini, massa bangunan (ketika mengalami gempa) didefinisikan sebagai ; 30 % beban hidup, 100 % beban mati, dan 100% beban mati tambahan. Struktur komponen, harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut (Departemen Pekerjaan Umum, 2002):

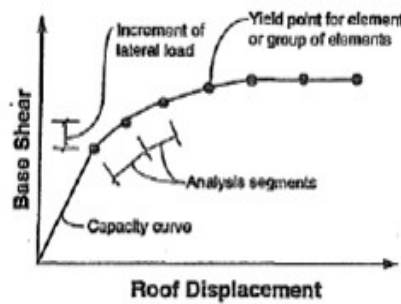
1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

2.4. Analisis Statik Non-linear (*Pushover*)

Karena keterbatasan analisis linear dalam menggambarkan perilaku bangunan, khususnya ketika dalam kondisi inelastik, analisis non-linear dalam evaluasi tingkat kerawanan bangunan perlu untuk dilakukan. Untuk gedung yang tergolong *regular*, pendekatan non-linear umumnya dilakukan melalui analisis *pushover*. Analisis ini mampu menggambarkan perilaku bangunan pada kondisi inelastik dengan memperhitungkan redistribusi gaya dalam ketika kapasitas elastik salah satu atau beberapa elemen struktur bangunan terlampaui. Penggunaan analisis *pushover* sudah secara luas digunakan karena dianggap mampu menggambarkan perilaku struktur pada kondisi inelastik mendekati keadaan sebenarnya (Foo, Simon).

Analisis *pushover* mensimulasikan beban gempa rencana pada model bangunan dengan memberikan gaya horizontal statis pada pusat massa masing-masing lantai bangunan yang besarnya secara berangsur-angsur ditingkatkan. Pada analisis ini, peningkatan beban dilakukan sampai bangunan mengalami kelelahan pertama dan akan terus dilanjutkan sampai bangunan mencapai batasan deformasi inelastiknya. Selama pembebanan diberikan, dilakukan pencatatan *base shear* dan deformasi horizontal pada titik kontrol (pusat massa pada lantai atap bangunan). Pencatatan ini kemudian disajikan dalam bentuk kurva dengan sumbu y menunjukkan besarnya *base shear* yang bekerja dan sumbu x menunjukkan besarnya deformasi horizontal di lantai atap bangunan. Kurva ini dikenal

dengan sebutan *capacity curve*. Secara garis besar kurva ini menunjukkan kemampuan atau kapasitas deformasi inelastik struktur sebelum mengalami keruntuhan.



Gambar 1. *Capacity Curve* (ATC 40, 1996).

2.4.1. Analisis *Pushover* berdasarkan ATC 40

Analisis *pushover* diawali dengan pembuatan *capacity curve* seperti telah dijelaskan sebelumnya. Umumnya software analisis struktur seperti SAP2000 dan ETABS memiliki kemampuan untuk melakukan pembebanan yang dimaksud sekaligus menggambarkan *capacity curve* bangunan. Setelah kurva kapasitas diperoleh, dilakukan penentuan *performance point* dengan *capacity spectrum method*. Prosedur penentuan titik kinerja dengan metode ini secara lengkap tercantum dalam dokumen ATC 40.

2.5. Peraturan Kegempaan SNI 1726-2012

Perubahan mendasar pada peraturan pembebanan terbaru SNI 1726 (2012) terletak pada periode ulang beban gempa, pembuatan respons spektra, serta penentuan kategori desain gempa yang disyaratkan. Khusus untuk Kota Bandar Lampung dan sekitarnya, keberadaan sumber gempa Sesar Semangko yang pada SNI 03-1726 (2002) dan SNI 03-1726 (1989) tidak diperhitungkan, kini diperhitungkan sehingga secara umum menambah kerawanan gempa pada daerah ini. Pembahasan lebih lanjut akan disajikan melalui subbab subbab berikut (Himawan, 2002).

2.5.1. Periode Ulang Beban Gempa Rencana

Beban gempa rencana pada SNI 1726 (2012) memiliki periode ulang sebesar 2500 tahun. Pada peraturan gempa sebelumnya, SNI 03-1726 (2002) dan SNI 03-1726 (1989), secara berurutan digunakan beban gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun dan 200 tahun. Dengan menggunakan periode ulang gempa rencana 2500 tahun, SNI 1726 (2012) menggunakan beban gempa yang kemungkinan terlampauinya sebesar 2% dalam jangka waktu 50 tahun, yang dengan kata lain menggunakan beban gempa yang lebih besar dibandingkan dua peraturan gempa sebelumnya (Raditya, 2011).

2.5.2. Pembuatan Respons Spektra Beban Gempa Rencana

Respons spektra untuk beban gempa SNI (2012) dihasilkan melalui pengolahan nilai respons spektra di batuan dasar pada periode 0,2 detik (S_s) dan 1 detik (S_1). Nilai ini diperoleh melalui pembacaan peta gempa SNI (2012) untuk 0,2 detik dan 1 detik. Untuk menghasilkan respons spektra di permukaan, nilai S_s dan S_1 kemudian dikalikan dengan faktor amplifikasi sehingga dihasilkan nilai respons spektra permukaan S_{MS} dan S_{M1} . Sebelum nilai nilai ini diplot menjadi respons spektra yang utuh, S_{MS} dan S_{M1} terlebih dahulu dikalikan dengan $2/3$, menghasilkan nilai respons spektra baru dengan sebutan S_{DS} dan S_{D1} . Kedua nilai inilah yang akan diplot menjadi respons spektra beban gempa rencana (Imran dkk., 2002).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif, karena hasil penelitian yang dilakukan berupa angka atau bilangan yaitu merupakan hasil analisis struktur gedung dengan menggunakan program SAP 2000 Ver.14.

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian merupakan tempat dilakukannya penelitian. Dalam hal ini, penelitian dilakukan di daerah Bandar Lampung.

3.3. Data Penelitian

Data penelitian menjelaskan mengenai objek yang akan diteliti. Objek dari penelitian ini yaitu struktur gedung POP Hotel Lampung yang memiliki 8 lantai yang tipikal, dengan tambahan basement, ground, dan roof. Berikut klasifikasi tanah dan denah struktur lantai 1 gedung POP Hotel. Jenis tanah yaitu “tanah keras” dengan nilai $\tilde{N}$ SPT yaitu >50 pada kedalaman pondasi sedalam 22 m berdasarkan nilai $\tilde{N}$ SPT .

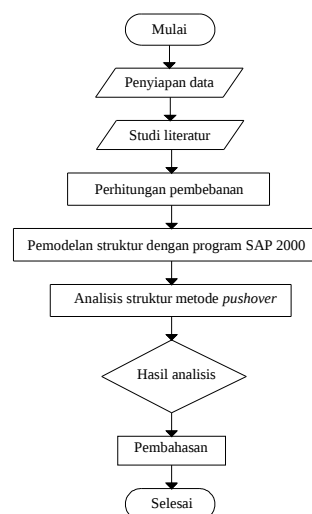
3.4. Prosedur Penelitian

Berikut prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini :

1. Menyiapkan data penelitian.
2. Melakukan studi literatur.
3. Perhitungan pembebanan struktur, diantaranya :
 - Beban hidup.
 - Beban mati akibat berat sendiri.
 - Beban mati tambahan.
 - Beban lateral (berupa beban gempa).
4. Pemodelan struktur menggunakan program SAP 2000 Ver.14.
5. Analisis struktur dengan metode *pushover*.
6. Menyimpulkan hasil analisis program SAP 2000 Ver.14.

3.5. Kerangka Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada *flow chart* berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penjelasan Umum

Terkait diberlakukannya peraturan pembebanan gempa terbaru SNI 1726 (2012), perlu dilakukan analisis terhadap tingkat kerawanan gempa dari Gedung POP Hotel terhadap beban gempa rencana. Melalui analisis statik nonlinear (*pushover*) dinilai memberikan hasil yang paling representatif terhadap perilaku dan kinerja bangunan. Peninjauan pengaruh kenaikan beban gempa dinilai akan cukup terwakilkan melalui analisis *pushover*.

4.2. Respons Spektra SNI 1726-2012

Berdasarkan peta gempa SNI 1726-2012 diketahui terdapat 2 peta zona gempa yang masing-masing berbeda kegunaannya. Peta zona gempa untuk nilai S_s dan peta zona gempa untuk nilai S_1 .



Gambar 3. Koordinat Nilai S_s .



Gambar 4. Koordinat Nilai S_1

Dari melihat peta gempa SNI 1726 (2012), didapat data koordinat Kota Bandar Lampung sebagai berikut :

$S_s = 0,7$

$S_1 = 0,3$

Tabel 1. Faktor Amplifikasi Percepatan Respons Spektra (SNI 1726-2012).

(a) Faktor Amplifikasi, F_a

Site Class	$S_s < 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1	1
C	1,2	1,2	1,1	1	1
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

(b) Faktor Amplifikasi, F_v

Site Class	$S_1 < 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 > 0,5$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1	1
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

Sehingga diperoleh,

$F_a = 1,12$ (interpolasi)

$F_v = 1,5$

$SM_s = S_s \times F_a = 0,784$ dan $SD_s = 2/3 \times SM_s = 0,5227$

$SM_1 = S_1 \times F_v = 0,45$ dan $SD_1 = 2/3 \times SM_1 = 0,3$

4.3. Pemodelan Struktur

Pemodelan ini dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 Ver.14. Masing-masing elemen struktur dimodelkan berdasarkan *as-built drawing*, dengan material beton ($f_c' = 30$ dan 35 MPa), baja tulangan lentur BJTD 40 ($f_y = 400$ MPa), dan baja tulangan sengkang BJTD 24 ($f_y = 240$ MPa). Berikut adalah material-material yang digunakan dalam pemodelan struktur :

4.3.1. Balok ($f_c' = 30$ MPa)

Keseluruhan balok dimodelkan dengan penampang *rectangular* dengan faktor reduksi sebesar 0,7 untuk memperhitungkan keretakan penampang akibat gempa. Faktor ini akan mereduksi inersia, konstanta torsional, dan *shear* area penampang. Tulangan lentur balok dimodelkan sesuai dengan luas tulangan yang terdapat pada *as-built drawing*. Kemudian, untuk keperluan analisis statik nonlinear / *pushover*, sendi plastis dalam mekanisme lentur diberikan pada ujung-ujung balok utama. Berikut sampel balok dengan dimensi 300.550 (mm) yang didefinisikan dalam program SAP 2000 Ver.14.

4.3.2. Kolom ($f_c' = 35$ MPa)

Seperti halnya pemodelan balok, semua kolom dimodelkan dengan penampang *rectangular* dengan faktor reduksi 0,7 untuk memperhitungkan keretakan penampang akibat gempa. Tulangan lentur kolom dimodelkan sesuai dengan luas tulangan yang terdapat pada *as-built drawing*. Kemudian, untuk keperluan analisis statik nonlinear / *pushover*, sendi plastis dalam mekanisme lentur dan aksial diberikan pada ujung-ujung kolom. Berikut contoh kolom dengan dimensi 700.300 (mm) didalam pemodelan SAP 2000 Ver.14.

4.3.3. Pelat Lantai

Pelat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin* dan dianggap sebagai *rigid diaphragm*. Sebagai elemen *shell*, pelat lantai dimodelkan untuk mendistribusikan beban area di atas lantai pada balok sekitarnya. Sedangkan pelat lantai sebagai *rigid diaphragm* berfungsi sebagai penyalur beban lateral ke kolom-kolom bangunan serta agar pelat bergerak secara bersamaan menahan beban yang diberikan. Penulangan pelat tidak diikutsertakan dalam pemodelan.

4.3.4. Tangga

Tangga dan bordes tidak dimodelkan, hanya diasumsikan sebagai beban .

4.3.5. Pondasi

Pondasi bangunan dianggap dapat memberikan kekangan terhadap translasi dan rotasi. Sehingga seluruh perletakan bangunan dimodelkan sebagai perletakan jepit (*fixed*).

4.4. Pembebanan dan Perilaku Dinamik Model Struktur

4.4.1. Beban Gravitasi

4.4.1.1. Beban Hidup (LL)

Beban hidup didefinisikan sebagai beban yang sifatnya tidak membebani struktur secara permanen, misalnya beban akibat pengguna bangunan. Berdasarkan fungsi Gedung POP Hotel sebagai ruang hunian/ perkantoran. Peraturan Pembebanan Indonesia 1987 merekomendasikan beban hidup sebagai berikut :

- beban hidup di lantai ruangan 250 kg/m^2 .
- beban hidup di lantai atap 100 kg/m^2 . (asumsi lantai atap bisa dibebani manusia)

4.4.1.2. Beban Mati Akibat Berat Sendiri (DL)

Beban mati didefinisikan sebagai beban yang ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur bangunan ; balok, kolom, dan pelat lantai. Beban ini akan dihitung otomatis oleh program SAP 2000 Ver.14.

4.4.1.3. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen-elemen tambahan atau *finishing* yang bersifat permanen.

1. Mekanikal dan elektrik : 25 kg/m^2
2. Plafon dan hanger : 18 kg/m^2
3. Lantai keramik : 24 kg/m^2 (per cm tebal) $\times 2 = 48 \text{ kg/m}^2$
4. Mortar : 21 kg/m^2 (per cm tebal) $\times 3 = 63 \text{ kg/m}^2$.

4.4.2. Perilaku Dinamik Model Struktur

Selain ditentukan oleh kekakuan, perilaku dinamik bangunan juga sangat ditentukan oleh massa bangunan. Massa bangunan dalam hal ini akan sangat ditentukan oleh beban gravitasi yang bekerja. Untuk kasus ini, massa bangunan (ketika mengalami gempa) didefinisikan sebagai ; 30% beban hidup, 100% beban mati, dan 100% beban mati tambahan. Rincian mengenai besarnya massa tiap lantai sebagai berikut:

4.5. Beban Lateral untuk Analisis *Pushover*

Ada beberapa pembebanan lateral yang diberikan untuk analisis *pushover*. Masing-masing pembebanan didefinisikan sebagai *load case* yang berbeda dan akan diawali oleh pembebanan gravitasi yang besarnya disesuaikan dengan massa bangunan (saat gempa). Seperti yang didefinisikan sebelumnya, massa bangunan meliputi 30% beban hidup, 100% beban mati, dan 100% beban mati tambahan. Pembebanan lateral diantaranya sebagai berikut :

1. Pembebanan Statik Ekuivalen (sesuai SNI 03-1726-2002)
2. Pembebanan Respon Spektrum (SNI 1726-2012)

Masing-masing akan dijelaskan pada subbab berikut di halaman selanjutnya .

*Statik Ekvivalen

$$V = \frac{(C \times I \times W_t)}{R} \quad (1)$$

Base Shear :

Dimana : V = Beban geser dasar nominal (kN).

C = Faktor respon gempa.

I = Faktor keutamaan gedung.

W_t = Berat total struktur termasuk beban hidup yang sesuai (kN).

R = Faktor reduksi gempa

Untuk gedung dengan tipe *dual system (shearwall)* yang dipasang pada struktur rangka pemikul momen khusus) Faktor reduksi gempa, R = 8,5

$$V = (0,2286 \times 1 \times 61791,65) / 8,5 \\ = 1661,832 \text{ kN.}$$

Lalu, beban geser dasar (*base shear*) nominal V harus dibagikan sepanjang tinggi struktur menjadi beban gempa nominal statik ekivalen F_i yang bekerja pada pusat massa lantai tiap tingkat i :

$$F_i = V \times \left(\frac{(W_i \times z_i)}{\left(\sum W_i \times z_i \right)} \right) \quad (2)$$

Dimana : F = Beban statik ekivalen (kN).

V = Gaya dasar (kN).

W = Massa tiap lantai (kN).

z_i = Tinggi gedung tiap lantai (m).

Ada 2 arah pembebanan statik ekivalen yaitu pembebanan arah X dan pembebanan arah Y. Berikut tampilan masing-masing arah pembebanan sesuai program SAP 2000 Ver.14.

* Respon Spektrum

Nilai respon spektrum telah dibahas di awal bab IV, dimana nilai tersebut sesuai dengan peraturan terbaru yakni SNI 1726-2012 dengan peta zona gempa yang berbeda dari peraturan gempa sebelumnya, lalu diplot ke dalam perhitungan pembebanan dalam program SAP 2000 Ver. 14.

4.6. Pendefinisian Kasus Analisis Pushover

Analisis *pushover* untuk masing masing kasus pembebanan lateral dilakukan dalam 2tahap yaitu pembebanan gravitasi kemudian dilanjutkan dengan pembebanan lateral. Pembebanan gravitasi diberikan secara bertahap yang besarnya meningkat sampai tingkat beban yang didefinisikan. Selanjutnya pembebanan dilanjutkan dengan beban lateral yang besarnya meningkat secara bertahap sampai tercapai salah satu kondisi berikut :

4.6.1. Pembebanan Tahap1 (pembebanan gravitasi)

Untuk memberikan intruksi pada program SAP 2000 Ver.14 bahwa pembebanan gravitasi dilakukan sampai level yang didefinisikan, dalam tampilan program dipilih opsi "*define to load case*". Kemudian isi *Load Pattern* dengan nilai-nilai faktor kala yang telah ditentukan

oleh SNI 03-1726-2012 yakni : 30% beban hidup, 100% beban mati, dan 100% beban mati tambahan.

4.6.2. Pembebanan Tahap 2 (pembebanan lateral)

Pembebanan lateral yang dilakukan dalam analisis *pushover* dengan cara menginput beban statik ekuivalen dan respon spektrum ke dalam proses pembebanan nonlinear statik. Program SAP 2000 Ver.14 dengan otomatis akan menghitungnya. Berikut step-step pembebanan yang dilakukan .

4.6.3. Pembebanan Tahap 3 (kombinasi pembebanan)

Sesuai peraturan SNI 1727 (2013) kombinasi pembebanan dapat dilakukan dengan cara mengkombinasikan beban-beban yang ada dalam peraturan tersebut dimana telah dibahas di bab II sebelumnya . Beban-beban tersebut adalah :

1. Beban hidup (LL)
2. Beban mati (DL)
3. Beban mati tambahan (SIDL)
4. Beban gempa (E) berupa nilai statik ekuivalen dan respon spektrum (dalam arah x dan y).

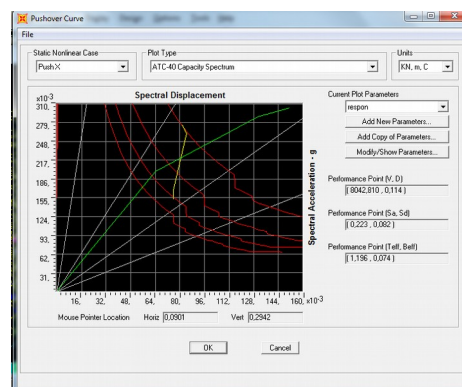
4.7. Hasil Analisis *Pushover*

Hasil analisis yang menjadi perhatian antara lain ; *performance* bangunan dan pola keruntuhan bangunan (distribusi sendi plastis). Dalam menentukan *performance point* bangunan, program SAP 2000 Ver.14 melakukan iterasi mengikuti prosedur B, ATC 40. Iterasi dilakukan berdasarkan kurva *demand* elastik (*damping ratio* 5%). Dalam hal ini *pushover* parameter “respon1” dengan *demand spectrum function of respon spectrum*.

4.7.1. Analisis *Pushover* Arah X

Kurva *Pushover* dan *Performance* Bangunan

Kurva kapasitas dan *demand* untuk pola pembebanan ditunjukkan melalui gambar IV.43. Berikut step pembebanan (push X) terhadap arah X .



Gambar 5. Kurva *Pushover* Arah X

Adanya *performance point* pada pola pembebanan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas deformasi untuk setiap pembebanan arah X.

Pengklasifikasian bangunan dilakukan berdasarkan drift ratio saat *performance point* tercapai. Drift ratio dihitung terhadap tinggi titik control yang telah didefinisikan. Hasil pengklasifikasian ditunjukkan pada tabel 2.

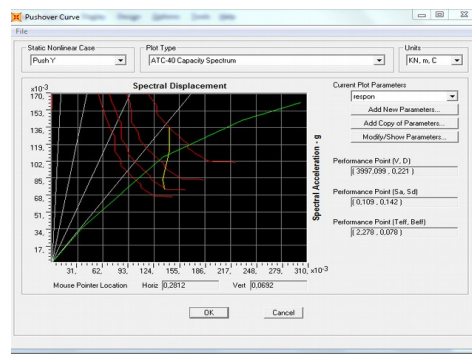
Tabel 2. Kinerja Bangunan Pada Analisis *Pushover* Arah X.

Pembebanan	Step Pembebanan	Displacement Max (m)	Drift Ratio (Xmax/H)	Performance Level
Push X	Step 4	0,21	0,0056	Immediate Occupancy

4.7.2. Analisis *Pushover* Arah Y

Kurva *Pushover* dan *Performance* Bangunan

Kurva kapasitas dan *demand* untuk pola pembebanan. Berikut step pembebanan (push Y) terhadap arah Y .



Gambar 6. Kurva *Pushover* Arah Y.

Adanya *performance point* pada pola pembebanan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas deformasi untuk setiap pembebanan arah Y.

Pengklasifikasian bangunan dilakukan berdasarkan *drift ratio* saat *performance point* tercapai. *Drift ratio* dihitung terhadap tinggi titik kontrol yang telah didefinisikan. Hasil pengklasifikasian ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Kinerja Bangunan Pada Analisis *Pushover* Arah Y.

Pembebanan	Step Pembebanan	Displacement Max (m)	Drift Ratio (Xmax/H)	Performance Level
Push Y	Step 3	0,47	0,0125	Damage Control

Dari hasil analisis *pushover* didapat nilai-nilai berikut yang tercantum dalam Tabel IV.9.

Tabel 4. Hasil Analisis *Pushover*.

Parameter	Arah Pembebanan	Base Shear (kN)	Displacement (m)	Performance
ATC 40	X	8042,810	0,21	Immediate Occupancy
ATC 40	Y	3997,099	0.47	Damage Control

5. KESIMPULAN

Pada tabel di atas terlihat bahwa kinerja bangunan Gedung POP Hotel mengalami kerusakan dengan level kinerja *Damage Control*. Dengan perpindahan sebesar 0,47 meter pada arah Y dan gedung mengalami keruntuhan *beam sway*.

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council. ATC 40, 1996, "*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*", Redwood City, California, U.S.A.
- SNI 1727, 2013, "*Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2013)*", Jakarta : BSN.
- RSNI3 03-1726, 201x, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (RSNI3 03-1726-201x)", ICS.
- SNI-03-2847, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI-03-2847-2002.
- Hayashi, T. Niwa H. & Fukuhara, M., 1980, "*Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings*", Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul.
- Himawan I., 2002, "*Buku Ajar Rekayasa Gempa*", Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
- Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik, 2002, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, Bandung, Penerbit ITB.
- Raditya, M., 2011, "*Analisis dan Perencanaan Perkuatan Struktur Gedung LABTEK XI Untuk Mengakomodasi Beban Gempa RSNI 03-1726-2010*", Bandung, Institut Teknologi Bandung (ITB).