

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BPJS KESEHATAN CABANG AMBON TERHADAP GEMPA DENGAN METODE PUSHOVER

Vector R. R. Hutubessy

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ambon

vectorreinhard@gmail.com

ABSTRACT

On September 26th 2019, an earthquake of 6.5 SR hit Kairatu, West Seram. Since West Seram is close to Ambon, the earthquake was greatly felt as well. Many people were panicked and run out from their houses and several buildings were severely damaged, including the MIPA building of Unpatti, the Medicine building Unpatti and the building of BPJS Kesehatan. Therefore, it is a must to understand that the structure evaluation of certain building is highly needed in order to understand the building that we own.

The improvement of science and technology has greatly helped the world of civil engineering in planning and analyzing the performance of certain building in order to do the Structure Evaluation of the building of BPJS Kesehatan Ambon towards the Earthquake using Pushover Method. The static non-linear analysis with the use of Pushover analysis method showed that a building could only hold the earthquake of 615,53 ton. Reviewed based on the C. F. Richter scale, that worth is on 4 – 4.9 (magnitude which is in light category. The limit of the roof drift ratio is obtained by a maximum total drift of 0.000647 while the maximum in-elastic drift is -0.00026 and is included in the Immediate Occupancy (IO) performance level, the effective base shear force in a linear state is smaller than the design base shear value ($V = 71.085 < V_{plan} 115.464$ tons. It is shown that the structure could be non-linear when the collapse happened.

Keyword: Pushover Analysis, Level of Performance, Shearing Stress

ABSTRAK

Pada tanggal 26 September 2019 gempa bumi berkekuatan 6,5 SR di wilayah Kairatu Seram Bagian Barat. Kabupaten Seram Bagian Barat yang relatif dekat dengan Kota Ambon, membuat guncangan gempa terasa sangat hebat. Banyak warga panik dan belarian ke luar rumah, sejumlah gedung dan rumah warga mengalami kerusakan diantaranya Gedung MIPA Unpati, Gedung Kedokteran Unpati, dan Gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon. Untuk itu sudah seharusnya kita pahami bahwa evaluasi kinerja bangunan sangat diperlukan untuk mengetahui keadaan Gedung yang kita huni.

Perkembangan ilmu dan teknologi sangat membantu dunia Teknik sipil dalam perencanaan dan analisis terhadap kinerja suatu struktur bangunan untuk melakukan Evaluasi Kinerja Struktur Gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon Terhadap Gempa Dengan Metode Pushover.

Analisis static non-linier dengan menggunakan metode Analisis Pushover memperlihatkan bahwa gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 615,53 ton. Dilihat berdasarkan skala kekuatan gempa bumi menurut C.F.Richter nilai tersebut berada pada kekuatan (magnitudo) 4-4,9 dengan kategori Light (ringan). Batasan rasio drift atap diperoleh maksimum total drift sebesar 0,000647 sedangkan maksimum in-elastik drift -0,00026 dan termasuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO), gaya geser dasar efektif pada keadaan linier lebih kecil dari nilai Gaya geser dasar rencana ($V = 71,085 < V_{rencana} 115,464$ ton). Hal ini menggambarkan bahwa struktur mampu berperilaku non-linier saat terjadi keruntuhan.

Kata Kunci : Analisis Pushover, level kinerja, Gaya Geser

1. PENDAHULUAN

Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia dan Sembilan lempeng lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia dan membentuk jalur- jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi sangat rawan terhadap gempa bumi.

Pada tanggal 26 September 2019 gempa bumi berkekuatan 6,5 SR di wilayah Kairatu Seram Bagian Barat. Kabupaten Seram Bagian Barat yang relatif dekat dengan Kota Ambon, membuat guncangan gempa terasa sangat hebat. Banyak warga panik dan belarian ke luar rumah, sejumlah gedung dan rumah warga mengalami kerusakan diantaranya Gedung MIPA Unpati, Gedung Kedokteran Unpati, dan Gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon. Untuk itu sudah seharusnya kita pahami bahwa evaluasi kinerja bangunan sangat diperlukan untuk mengetahui keadaan Gedung yang kita huni.

Dalam hal ini desain struktural merupakan substansi dari suatu perencanaan bangunan sebab, menentukan apakah suatu bangunan dengan rancangan tertentu mampu menahan beban Gempa atau tidak. Rencana pembebanan merupakan data utama sebagai informasi untuk perencanaan elemen struktural seperti beban mati, beban hidup, beban angin, beban mekanikal elektrik, dan beban gempa.

Berbicara tentang bangunan tinggi dan beban gempa, berarti kita juga sedang membahas pushover analysis dimana kita mengasumsikan bahwa sebuah gedung di dorong oleh beban lateral secara *cyclic* dan *continue* sampai gedung tersebut mengalami kondisi kritis. Konsep ini dilakukan untuk menemukan maksimum daya dukung gedung terhadap beban gempa. Beberapa parameter yang dapat digunakan sebagai acuan daya dukung adalah *displacement*, *base shear* dan *performance point*.

Perkembangan teknologi sangat membantu dunia sipil dalam perencanaan dan analisis terhadap kinerja suatu struktur bangunan. Oleh sebab itu penulis tertarik melakukan **Evaluasi Kinerja Struktur Gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon**

Terhadap Gempa Dengan Metode Pushover. Penulis juga menggunakan bantuan program SAP 2000 v18 yang kemudian mengkaji dan membahas output yang dihasilkan program tersebut. Dengan demikian melakukan reevaluasi kinerja seismik terhadap struktur bangunan merupakan hal yang penting sebagai bagian langkah nyata dalam penanggulangan dampak dari bencana gempa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme Keruntuhan

Cosmas Wibisono dan Hendro Lie (2008), Ketika terjadi deformasi tak terbatas pada bagian struktur tanpa diiringi peningkatan beban yang bekerja pada struktur tersebut, maka dapat dikatakan struktur dalam keadaan runtuh. Salah satu hal yang perlu diperhatikan pada saat struktur mengalami runtuh adalah jumlah sendi yang cukup telah terbentuk untuk mengubah struktur atau bagian dari struktur tersebut menjadi suatu bentuk mekanisme keruntuhan.

Jumlah sendi plastis yang telah terbentuk dapat dijadikan suatu patokan apakah struktur telah mengalami keruntuhan atau belum. Hal ini dapat dikaitkan dengan besarnya redaman pada saat struktur statis tak tentu. Setiap terbentuknya sendi plastis maka akan diikuti dengan berkurangnya jumlah redaman sampai struktur menjadi statis tak tentu. Jika jumlah sendi plastis melebihi jumlah redaman maka kondisi ini menyebabkan keruntuhan pada struktur.

Pada kenyataannya kondisi ini jarang terjadi karena ada beberapa hal saat jumlah sendi plastis yang terjadi tidak melebihi redaman namun dapat menyebabkan keruntuhan struktur. Hal ini dapat terjadi pada portal bertingkat dua atau lebih. Keruntuhan suatu struktur dapat dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut:

a. **Keruntuhan Lokal** adalah keruntuhan yang diakibatkan oleh kegagalan pada elemen struktur yang mengalami sendi plastis. Kegagalan ini terjadi karena kapasitas penampang dari suatu elemen telah terlampaui. Parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi keruntuhan lokal adalah kelengkungan dan sudut rotasi plastis.

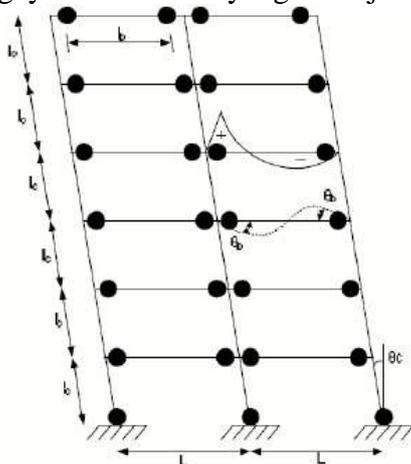
b. **Keruntuhan Global**
 umumnya diasosiasikan dengan simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada saat terjadi deformasi in-elastis yang dibatasi pada nilai tertentu bergantung pada periode struktur. Keruntuhan ini terjadi jika deformasi lateral suatu struktur telah melebihi batas maksimum yang telah ditentukan oleh peraturan yang berlaku.

Park and Paulay (1974), Ada dua tipe mekanisme keruntuhan yang biasa terjadi pada analisis statik sebagai batas analisis, yaitu *beam sway mechanism* dan *column sway mechanism*. *Beam sway mechanism* yaitu pembentukan sendi plastis pada ujung-ujung balok, sedangkan *column sway mechanism* merupakan pembentukan sendi plastis pada kedua ujung baik atas maupun bawah dari elemen struktur vertikal. Dalam perencanaannya, mekanisme keruntuhan yang diharapkan adalah *beam sway mechanism*, hal ini disebabkan beberapa alasan yaitu:

a. Pada *beam sway mechanism*, jumlah sendi plastis terbentuk dalam banyak elemen sehingga energy yang dipancarkan semakin banyak pula.

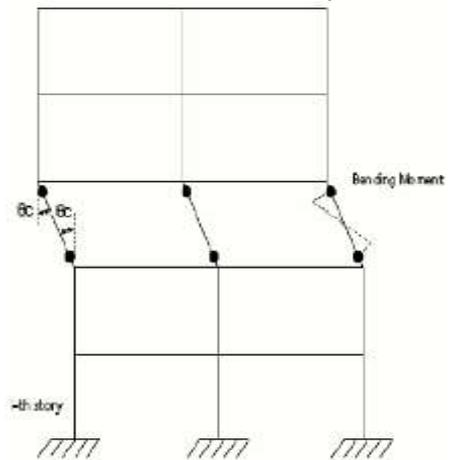
b. Pada *column sway mechanism*, sendi plastis hanya akan terbentuk pada ujung-ujung kolom pada suatu lantai saja, sehingga pemencaran energi hanya terjadi pada sejumlah kecil elemen.

c. Daktilitas kurvatur yang harus dipenuhi oleh balok pada umumnya jauh lebih mudah dipenuhi daripada kolom yang sering kali memiliki daktilitas yang terbatas akibat besarnya gaya aksial tekan yang bekerja.



Gambar 2.1 Mekanisme Keruntuhan *Beam Sidesway Mechanism*

Sumber : Park and Paulay, 1974



Gambar 2.2 Mekanisme keruntuhan *Column sidesway Mechanism*

Sumber : Park and Paulay, 1974

Keterangan :

- L_c : Tinggi Kolom
- θ_b : Sudut Geser Balok
- L : Bentang Kolom
- θ_c : Sudut Geser Kolom

Tabel 2.1 Batasan Rasio Drift Atap

Parameter	Performance Level			
	IO	Damag e Control	LS	Structur al Stability
Maksimu m Total Drift	0.01	0.01 s.d 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimu m Total In-elastic Drift	0.00 5	0.005 s.d 0.015	No Limi t	No limit

Sumber: *Applied Technogy Council (ATC) 1996*

2.2 Parameter Dinamika Struktur

Pada saat melakukan perencanaan terhadap suatu struktur, maka perlu diketahui beberapa parameter penting, yaitu massa (m), kekakuan (k), redaman (c), dan waktu getar alami struktur (T). (SNI 03-1726-2002)

a. Kekakuan Struktur (k)

Kekakuan struktur merupakan gaya yang diperlukan oleh suatu struktur bila mengalami deformasi. Adapun penilaian kekakuan ini berdasarkan bahan- bahan material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas, momen inersia, momen inersia polar, dan

modulus elastisitas geser. (SNI 03-1726-2002)

b. Redaman (c)

Suatu struktur bila dikenai beban tidak selalu bergetar. Hal ini disebabkan adanya redaman. Redaman pada struktur yang bergetar menyatakan adanya fenomena disipasi energy atau penyerapan energi. (SNI 03-1726-2002)

c. Waktu Getar Alami Struktur (T)

(SNI 03-1726-2002), Waktu getar alami adalah waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk bergetar satu kali bolak-balik tanpa adanya gaya luar. Waktu getar alami struktur ini dinyatakan dalam detik. Besarnya waktu getar alami struktur perlu diketahui agar peristiwa resonansi pada struktur dapat dihindari. Peristiwa resonansi struktur adalah suatu keadaan saat frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur. Adapun hubungan antara waktu getar dengan frekuensi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$T_1 < \zeta n \tag{2.1}$$

T_1 = Batas maksimum waktu getar alami.

ζ = Koefisien yang membatasi waktu getar alami struktur gedung, tergantung dari wilayah gempa sesuai tabel 8 SNI 03-1726-2002.

n = Jumlah tingkat struktur

untuk struktur gedung berupa portal tanpa unsur pengaku waktu getar alami dapat dihitung dengan rumus :

portal baja $T = 0,085 H^{0,75}$ untuk

portal beton $T = 0,060 H^{0,75}$ untuk

struktur gedung yang lain $T = 0,090 H B^{-0,5}$ untuk

Keterangan :

H : Tinggi Bangunan Struktur

B : Panjang Denah Struktur

Waktu getar alami struktur gedung dapat dihitung dengan rumus-rumus menurut *Federal Emergency Management Agency - 356 (FEMA-356)* sebagai berikut :

$$T = (Ct. H_n)^\beta \tag{2.2}$$

Dimana:

T = Waktu Getar Alami Fundamental

$C_t = 0.035$ untuk sistem bangunan baja.

$= 0.018$ untuk sistem bangunan beton.

$= 0.030$ untuk sistem *bracing* bangunan baja.

$= 0.060$ untuk sistem bangunan kayu.

$= 0.020$ untuk semua sistem

bangunan selain bangunan di atas

(selain bangunan beton, baja ,*bracing* baja dan kayu).

$\beta = 0.80$ untuk sistem bangunan baja.

$= 0.90$ untuk sistem bangunan beton.

$= 0.075$ untuk semua sistem

bangunan selain bangunan diatas

(selain banguan beton dan baja).

H_n = Tinggi puncak bagian utama struktur (m)

Tabel 2. 2 Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung.

Wilayah Gempa	Z
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (Standar Nasional Indonesia 03-1726,2002,,hal.27)

2.3 Faktor Keutamaan

Untuk berbagai kategori gedung bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung yang diharapkan. Pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung harus dikalikan dengan suatu factor keutamaan I menurut persamaan :

$$I = I_1 \cdot I_2 \tag{2.3}$$

Di mana :

I_1 = faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan

dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung.

I_2 = faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan

dengan penyesuaian umur gedung tersebut.

Tabel 2.3 Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti PIP2B, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (Standar Nasional Indonesia 03-1726,2002 hal.12)

2.4 Daktilitas Struktur (μ)

Faktor daktilitas struktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum gedung akibat pengaruh gempa rencana saat mencapai ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama. Faktor daktilitas struktur gedung dipengaruhi dengan faktor reduksi gempa (R).

Tabel. 2.4 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R Pers.(6)
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
Daktail penuh	5,3	8,5

Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (Standar Nasional Indonesia 03-1726,2002,tabel 2,hal.15)

Dengan adanya sifat daktilitas tersebut, maka suatu struktur memungkinkan terjadinya sendi plastis secara bertahap pada elemen- elemen struktur yang telah ditentukan pada saat terjadi beban gempa maksimum. Hal ini terjadi akibat gerakan tanah dasar yang diterima akan didistribusikan pada sendi plastis tersebut. Semakin banyak terbentuk sendi plastis pada elemen struktur, semakin besar pula energi gempa yang didistribusikan. Setelah terjadi sendi plastis pada suatu elemen, defleksi struktur serta rotasi plastis masih terus bertambah. Daktilitas bangunan didesain harus dibatasi berdasarkan kriteria perencanaan sebagai berikut:

- a. Kekuatan dan kekakuan struktur direncanakan untuk memenuhi kondisi *inelastic* yang direncanakan supaya memberikan kemampuan kepada struktur bangunan saat mengalami deformasi bersifat elastoplastik tanpa terjadi keruntuhan saat mengalami gempa rencana maksimum.
- b. Sendi- sendi plastis yang terjadi akibat beban gempa maksimum direncanakan terdapat di dalam balok- balok dan tidak terjadi dalam kolom- kolom, kecuali pada kaki kolom yang paling bawah. Hal ini dapat tercapai bila kapasitas (momen leleh) kolom lebih tinggi daripada kapasitas (momen

leleh) balok yang bertemu pada kolom tersebut (konsep kolom kuat balok lemah).

c. Besarnya *displacement* yang terjadi harus dibatasi untuk menjaga integritas bangunan dan menghindari jatuhnya korban jiwa.

2.5 Performance Level

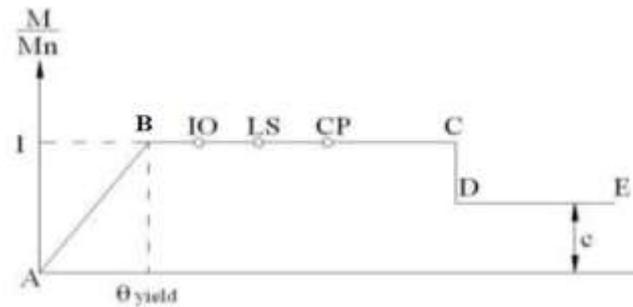
Performance level menggambarkan batasan kerusakan pada struktur dan beban gempa yang ada. Batasan kerusakan ini dideskripsikan dari kerusakan fisik yang terjadi pada struktur, ancaman kehilangan nyawa bagi pengguna bangunan akibat kerusakan yang terjadi.

Di dalam ATC-40 dijelaskan perilaku suatu struktur yang diukur dari tingkat kerusakan structural dan non structural yang terjadi. Empat tingkat kerusakan utama sebagai berikut :

Tabel 2.7 Kriteria Kinerja

Level Kinerja	Penjelasan
<i>Operational</i>	Tidak ada kerusakan struktural, dan non struktural yang berarti, bangunan dapat terus berfungsi
<i>Immediate Occupancy</i>	Tidak terjadi kerusakan struktural, komponen non structural masih berada di tempatnya dan bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan
<i>Life Safety</i>	Terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non structural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan
<i>Collapse Prevention</i>	Kerusakan terjadi pada komponen struktural dan non struktural, bangunan hampir runtuh, dan kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan sangat mungkin terjadi.

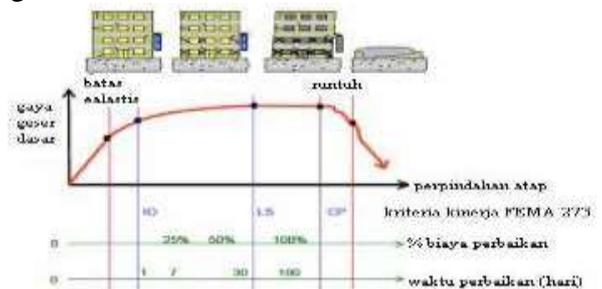
Sumber : ATC-40, Volume 1



Gambar 2.5 Kurva Kriteria Kinerja

Sumber : Jurnal tentang Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000, Wiryanto Dewobroto.

Bila struktur mengalami gempa atau gaya geser dasar (Vb), dengan kondisi gempa tersebut < gempa rencana (Vn), maka komponen struktur masih dalam keadaan elastik (A-B). Titik B menunjukkan keadaan leleh pertama. ketika Vb > Vy, struktur dalam keadaan plastis (B-C). Titik C merupakan batasan maksimum struktur dalam menahan gempa (Vb). Vb terus meningkat, maka terjadi degradasi pada struktur (C-D). Titik D menandakan bahwa struktur tidak mampu menahan gempa (Vb), tetapi masih mampu menahan beban gravitasi. Bila beban ditingkatkan, struktur akan runtuh



Gambar 2.6 Ilustrasi Keruntuhan Gedung

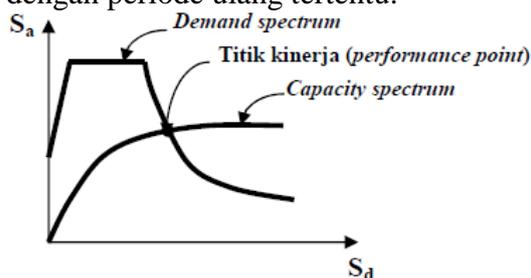
Sumber : Jurnal tentang Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000, Wiryanto Dewobroto

Gambar diatas menjelaskan secara kualitatif level kinerja FEMA 273 yang digambarkan bersama dengan suatu kurva hubungan gaya- perpindahan yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisa statik non-linier yang dikenal sebagai analisa *pushover*, sehingga disebut juga

sebagai kurva pushover. Sedangkan titik kinerja (*performance point*) merupakan besarnya perpindahan titik pada atap pada saat mengalami gempa rencana. Tingkat kinerja berdasarkan ATC-40 adalah SP-1 *Immediate Occupancy*, SP-2 *Damage Control*, SP-3 *Life Safety*, SP-4 *Limited Safety*, SP-5 *Structural Stability*, SP-6 *Not Considerd*.

2.6 Capacity Spectrum Method

Capacity Spectrum method menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum, yaitu spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya dorong total (*base shear*) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan), dan spektrum *demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat gempa dengan periode ulang tertentu.



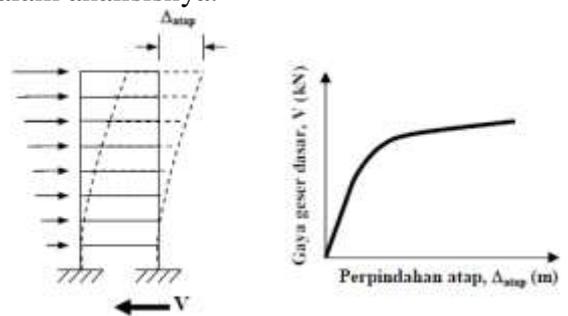
Gambar 2.7 Performance Point pada Capacity Spektrum Method

Sumber : ATC-40, Volume 1

2.7 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas yang didapatkan dari analisis *pushover* menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen-deformasi dari masing-masing komponen struktur. Cara termudah untuk membuat kurva ini adalah dengan mendorong struktur secara bertahap (*pushover*) dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu. Pola pembebanan umumnya berupa beban statik ekuivalen, hal ini berlaku untuk bangunan yang memiliki periode fundamental struktur yang relative kecil. Untuk bangunan yang lebih fleksibel dengan periode struktur yang lebih besar, perencana sebaiknya

memperhitungkan pengaruh ragam yang lebih tinggi dalam analisisnya.

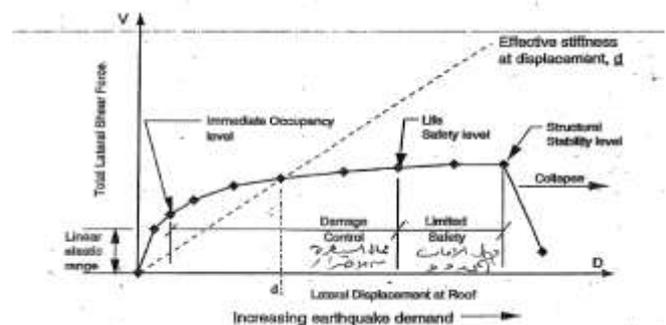


Gambar 2.8 Kurva Kapasitas

Sumber : ATC-40, Volume 1

2.8 Pushover Analisis

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Analisa *pushover* menghasilkan kurva *pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan titik acuan pada atap. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.



Gambar 2.9 Kurva Kapasitas Khas

Sumber ATC 40

volume VI

Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

3. METODE ANALISIS

1.1 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon yang berada di Kota Ambon. Struktur Gedung beton bertulang dengan 3 lantai. Ukuran bangunan 36,70 m x 16,35 m. Lokasi Gedung di

TIPE	DIMENSI (cm)
B1	30/50
B2	30/50
B3	20/30
B4	30/40
B5	30/40
B6	30/40
B7	20/50

Wailela Kota Ambon dengan Fungsi gedung sebagai perkantoran.

1.2 Jenis data

Pengumpulan data dan informasi bangunan yang dievaluasi merupakan data sekunder berupa *As build drawing*. Data ini digunakan

TIPE	DIMENSI (cm)
KP	60/60
K1	40/40
K2	40/40
K3	40/40

untuk permodelan struktur 3D. Adapun juga data- data teknis bangunan sebagai berikut : Mutu beton 25 MPa, mutu baja 300 MPa, berat jenis beton bertulang 2400 kg/m³, dimensi kolom portal 60/60 cm, dimensi kolom 40/40, dimensi balok 30/50 cm, dengan daerah gempa terletak dalam zona 5 tanah sedang. Dalam metode penelitian ini digunakan metode analisis *pushover*, dibantu dengan program SAP 2000.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Model Struktur

Dalam tugas akhir ini Bangunan yang ditinjau terdiri dari 4 lantai mempunyai ukuran bangunan 36,70 m x 16,35 m, dengan arah sumbu -x bangunan memiliki 6 segmen dengan masing- masing bentang sepanjang 4,5 m -6,5m dan 4 m dan sumbu -y bangunan memiliki 5 segmen dengan masing- masing bentang memiliki panjang 5,55 m dan 5,25 m.

4.2 Perhitungan Berat Sendiri Bangunan

1. Data struktur bangunan gedung adalah sebagai berikut:

a. Konfigurasi Gedung

Tabel 4.1 Konfigurasi Gedung

No	Lantai	Tinggi lantai	Tinggi bangunan (m)
1	1	4	4
2	2	4	8
3	3	4	12
4	Atap	5	17

b. Mutu Bahan

Mutu beton $f'c = 25$ MPa

Mutu baja $fy = 300$ MPa

c. Data Elemen Struktur

1. Pelat lantai, tebal = 12 cm

2. Balok

Tipe balok yang dipakai sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tipe Balok

1. Kolom

Tipe kolom yang dipakai sebagai berikut :

Tabel 4.3 Tipe Kolom

2. Beban pada gedung

a. Beban mati (Berat Sendiri) Bahan Bangunan dan Komponen Gedung:

Beton bertulang : 2400 kg/m³

Pasir : 1800 kg/m³

Adukan semen/spesi : 21 kg/m³

Eternit/ Plafond : 11 kg/m²

Penggantung langit- langit : 7 kg/m²

Penutup Lantai (Keramik) : 24 kg/m²

Penutup Atap (Genting) : 50 kg/m²

Pasangan 1/2 Bata : 250 kg/m³
 Koefisien Reduksi beban mati : 0.9

b. Beban Hidup
 Koefisien reduksi gempa (kantor) : 0.3
 Beban hidup lantai (kantor) : 250 kg/m³

4.3 Perhitungan Pembebanan Pada Struktur

1. Lantai 1

Tabel 4.4 Beban mati (WD) lantai 1

No	Unit	Volum e	Berat Sendir i	Berat
1	Pelat	66,456 m ³	2400 kg/ m ³	159,494 ton
2	Kolom	10,240 m ³	2400 kg/ m ³	24,576 ton
3	Balok	29,534 m ³	2400 kg/ m ³	70,883 ton
4	Dinding 1/2 bata	13,240 m ³	2400 kg/ m ³	31,776 ton
5	Plafond + penggantung	553,790 m ²	18 kg/ m ²	9,968 ton
6	Instalasi	553,790 m ²	18 kg/ m ²	9,968 ton
7	Tegel dan spesi	553,790 m ²	45 kg/ m ²	24,921 ton
Jumlah				331,582 ton

Beban hidup (WL) lantai 1.

- berat lantai : 0,250 t/m²
 - koefisien reduksi : 0,3 (gempa untuk kantor)
 - beban hidup : 0,3 x 553,79 m² x 0,250 t/m²
 : 41,534 ton

Beban total (WT) lantai 1.

e-ISSN: 0000-0000

- berat total : WD + WL
 : 331,582 ton +
 41,534 ton
 : 373,116 ton

2. Lantai 2

Tabel 4.5 Beban mati (WD) lantai 2

No	Unit	Volum e	Berat Sendir i	Berat
1	Pelat	66,456 m ³	2400 kg/ m ³	159,494 ton
2	Kolom	20,480 m ³	2400 kg/ m ³	49,152 ton
3	Balok	29,534 m ³	2400 kg/ m ³	70,883 ton
4	Dinding 1/2 bata	30,615 m ³	2400 kg/ m ³	73,476 ton
5	Plafond + penggantung	553,790 m ²	18 kg/ m ²	9,968 ton
6	Instalasi	553,790 m ²	18 kg/ m ²	9,968 ton
7	Tegel dan spesi	553,790 m ²	45 kg/ m ²	24,921 ton
Jumlah				397,858 ton

Beban hidup (WL) lantai 2.

- berat lantai : 0,250 t/m²
 - koefisien reduksi : 0,3 (gempa untuk kantor)
 - beban hidup : 0,3 x 553,79 m² x 0,250 t/m²
 : 41,534 ton

Beban total (WT) lantai 2.

- berat total : WD + WL
 : 397,858 ton +
 41,534 ton
 : 439,392 ton

3. Lantai 3

Tabel 4.6 Beban mati (WD) lantai 3

No	Unit	Volum e	Berat Sendir i	Berat
----	------	---------	----------------	-------

			i	
1	Pelat	66,456 m ³	2400 kg/ m ³	159,494 ton
2	Kolom	10,240 m ³	2400 kg/ m ³	24,576 ton
3	Balok	29,534 m ³	2400 kg/ m ³	70,883 ton
4	Dinding ½ bata	17,375 m ³	2400 kg/ m ³	41,700 ton
5	Plafond + penggantung	553,790 m ²	18 kg/ m ²	9,968 ton
6	Instalasi	553,790 m ²	18 kg/ m ²	9,968 ton
7	Tegel dan spesi	553,790 m ²	45 kg/ m ²	24,921 ton
Jumlah				341,506 ton

Beban hidup (WL) lantai 3.
 - berat lantai : 0,250 t/m²
 - koefisien reduksi : 0,3 (gempa untuk kantor)
 - beban hidup : 0,3 x 553,79 m² x 0,250 t/m²
 : 41,534 ton
 Beban total (WT) lantai 3.
 - berat total : WD + WL
 : 341,506 ton +
 41,534 ton
 : 383,040 ton

4. Atap

Tabel 4.7 Beban mati (WD) atap

No	Unit	Volume	Berat Sendiri	Berat
1	Kuda-kuda	184,660 kg		0,185 ton
2	Gording	57,193 kg		0,057 ton
3	Penutup atap	553,790 m ²	50 kg/ m ³	27,689 ton
Jumlah				27,932 ton

Beban hidup (WL) atap.
 - berat lantai atap : 553,790 m² x 0,02 t/m²
 : 11,0758 ton
 Reduksi beban hidup : 11,0758ton x 0,3
 : 3,323 ton
 Beban total (WT) atap.
 - berat total : WD + WL
 : 27,932 ton +
 3,323 ton
 : 31,255 ton

Hasil perhitungan berat perlantai disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.8 Berat Struktur Perlantai

No	Lantai	Beban mati (ton)	Beban hidup (ton)	Berat total (ton)
1	1	331,582 ton	41,534 ton	373,116 ton
2	2	307,858 ton	41,534 ton	439,392 ton
3	3	341,506 ton	41,534 ton	383,040 ton
4	Atap	27,932 ton	3,323 ton	31,255 ton
Jumlah				1226,803 ton

4.4 Analisis Statik Ekuivalen

Perhitungan periode getar pada wilayah gempa 5

1. Taksiran waktu getar alami fundamental (T)
 $T = (Ct. Hn.)^\beta$
 T : 0,018 x 17^{0,90}
 : 0,230 detik
 2. Pembatasan waktu getar alami fundamental
 $T_1 < \zeta_n$
 : 0,230 < 0,16 x
 4
 : 0,230 < 0,64

Untuk pembatasan waktu getar alami fundamental diambil nilai terkecil yaitu:

T : 0,230 detik

3. Koefisien Gempa dasar.

Untuk wilayah gempa 5 dengan jenis tanah sedang.

g : 0,25
(percepatan puncak batuan dasar)

Ao : 0,32
(percepatan puncak muka tanah)

Am : 2,5 x Ao
(percepatan respons maksimum)

$$: 2,5 \times 0,32 =$$

0,8

Tc : 0,6 detik
(waktu getar alami sudut)

Utuk $T < Tc$

$$0,230 < 0,6$$

Maka $C = Am = 0,8$

Perhitungan Gaya Geser Nominal

1. Gaya Geser Nominal

$$V = \frac{C I}{R} \cdot Wt$$

Dimana :

V = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

C = 0,80 (Faktor respons gempa yang didapat dari Spectrum Respons)

I = 1 (Faktor Keutamaan gedung untuk bangunan perkantoran)

R = 8,5 (Faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan yang bersifat daktail penuh)

Wt = 1226,803 ton (Berat total gedung)

$$V = \frac{0,8 \times 1}{8,5} \times 1226,803$$

$$= 115,464 \text{ ton}$$

2. Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen.

Rasio tinggi gedung dengan lebar ukuran gedung terbebani gempa adalah:

$$\frac{H}{Lx} = \frac{17}{36,7} = 0,46$$

$H/Lx < 3$ maka beban geser dasar nominal V, dibagi sepanjang tinggi struktur gedung, menjadi beban- beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai ke-i.

$$F = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V$$

Dimana:

F_i = Beban gempa nominal statik ekuivalen

W_i = Berat lantai tingkat ke-1 pada peninjauan gempa

h_i = Ketinggian lantai tingkat ke-I pada peninjauan gempa

V = Beban geser dasar nominal akibat gempa

Tabel 4.9 Distribusi beban lateral tiap lantai

No	Lantai	hi (m)	Wi (ton)	hi x Wi (tm)	F (ton)
1	1	4 m	373,116 ton	1492,464 tm	17,002 ton
2	2	8 m	439,392 ton	3515,136 tm	40,045 ton
3	3	12 m	383,040 ton	4596,480 tm	52,364 ton
4	Atap	17 m	31,255 ton	531,335 tm	6,053 ton
Jumlah			1226,803 ton	10135,415 tm	115,464 ton

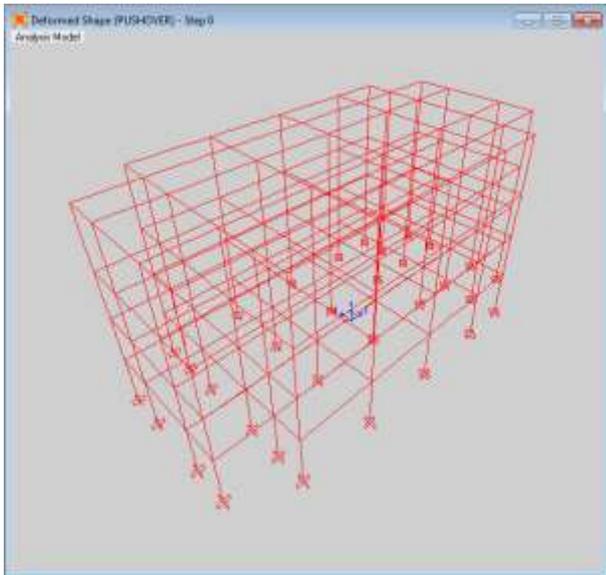
Tabel 4.10 Beban lateral searah sumbu X dan Y

No	Lantai	F (ton)	FX 30% (ton)	FY 100% (ton)
1	1	17,002 ton	5,101 ton	17,002 ton
2	2	40,045 ton	12,014 ton	40,045 ton
3	3	52,364 ton	15,709 ton	52,364 ton
4	Atap	6,047 ton	1,814 ton	6,053 ton
Jumlah		115,458 ton	34,638 ton	115,464 ton

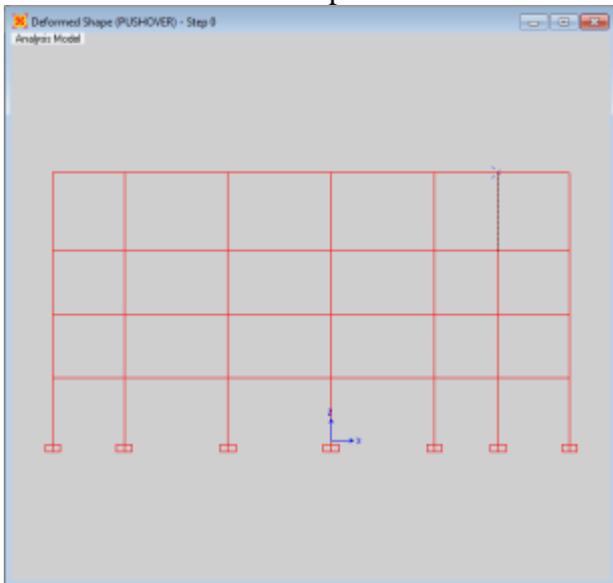
4.5 Pemodelan Gedung Pada Sap 2000

Perlu diketahui bahwa hasil yang disajikan Program SAP 2000 bukanlah hasil mutlak

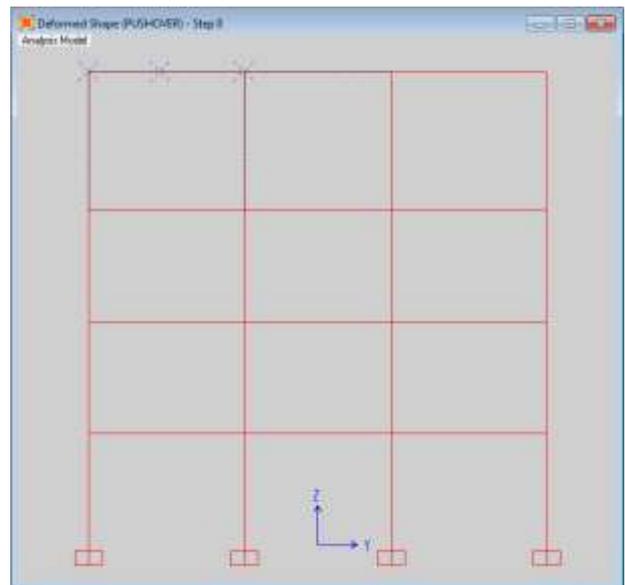
seperti kondisi riil di lapangan, melainkan masih berupa pendekatan. Peran kita dibutuhkan dalam menghasilkan output yang lebih valid dan dapat dipertanggung jawabkan. Pada intinya pengguna dituntut melakukan pemodelan yang cukup menggambarkan kondisi riil di lapangan agar hasil yang diperoleh dapat dijadikan tolak ukur.



Gambar 4.1 Pemodelan Struktur gedung BPJS Kota Ambon pada SAP 2000



Gambar 4.2 Struktur Portal arah X



Gambar 4.3 Struktur Portal arah Y (Sumbu lemah)

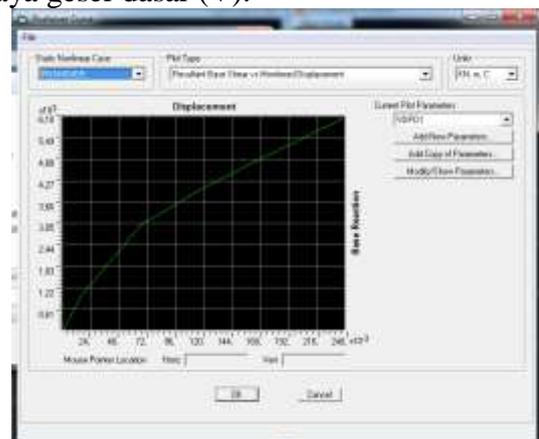
Pembebanan Elemen

Jenis pembebanan yang digunakan pada program SAP2000 sebagai berikut

- ✓ Dead : Beban dari berat sendiri elemen, seperti balok, pelat dan kolom.
- ✓ Live : Beban hidup tereduksi
- ✓ Q Push : Beban lateral yang digunakan untuk analisis *pushover*.

4.6 Hasil Analisis Pushover

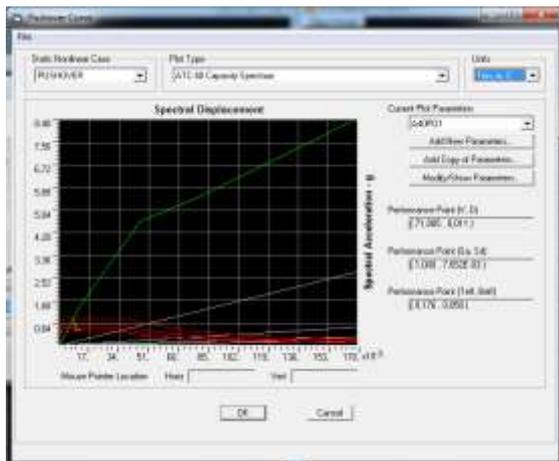
Dari hasil *Running*, didapatkan kurva Kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V).



Gambar 4.4 Kurva Kapasitas

Grafik menunjukkan pada saat perpindahan mencapai 0,015549 m kondisi struktur masih bersifat linier yang kemudian berperilaku non-linier saat perpindahan mencapai 0,237766 m. Pada proses ini struktur didorong

sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut.



Kurva kapasitas ini akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

4.7 Pembahasan

Tabel 4.11 Nilai Performance Point

V (ton), D (m)	71,085 (ton) ; 0,011 (m)
Teff (second), β_{eff}	0,176 (dtk) ; 0,050 %

1. Displacement limit menurut SNI 1726-2002 ditentukan = $2\%H = 0,02 \times 17 = 0,34$ m > D= 0,011 m maka kinerja displacement gedung baik.
2. Diperoleh nilai gaya geser dasar efektif pada keadaan linier lebih kecil dari nilai Gaya geser dasar rencana (V = 71,085 < Vrencana 115,464 ton).
3. Kinerja gedung Menurut ATC-40 Tabel 2.7 Batasan rasio *drift* atap = $\frac{Dt}{H} = \frac{0,011}{17} = 0,000647$

Sehingga level kinerja gedung adalah **Immediate Occupancy**.

$$\text{Maksimum in- elastic drift} = \frac{Dt - D1}{H_{tot}} = \frac{0,011 - 0,0155}{17} = - 0,0002647$$

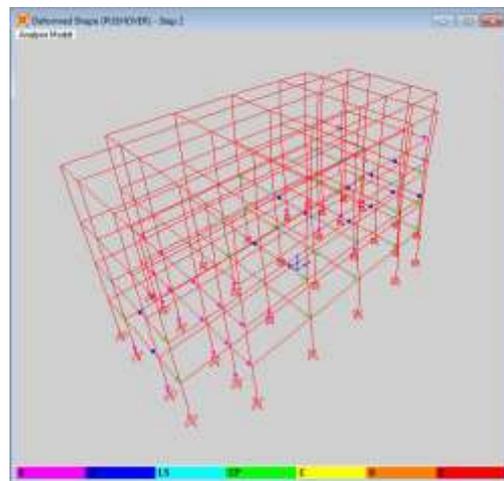
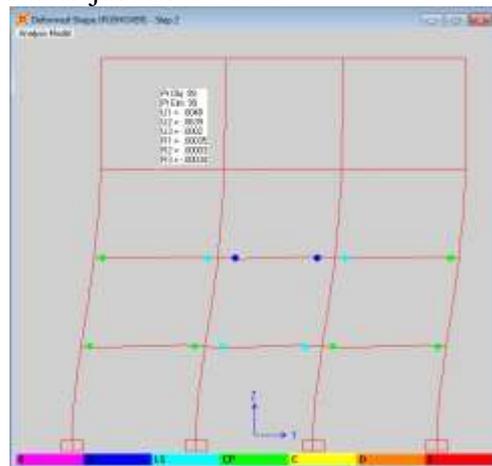
Level kinerja gedung Nonlinier adalah **Immediate Occupancy**.

Hasil analisis *Pushover* tahap dua merupakan awal terjadinya sendi plastis pada struktur dengan kinerja gedung saat mencapai gaya geser dasar sebesar V = 98,556 ton masuk

pada level **Immediate Occupancy** yakni ada kerusakan yang terjadi pada struktur dimana kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan gedung dapat digunakan kembali.

4.8 Skema Distribusi Sendi Plastis

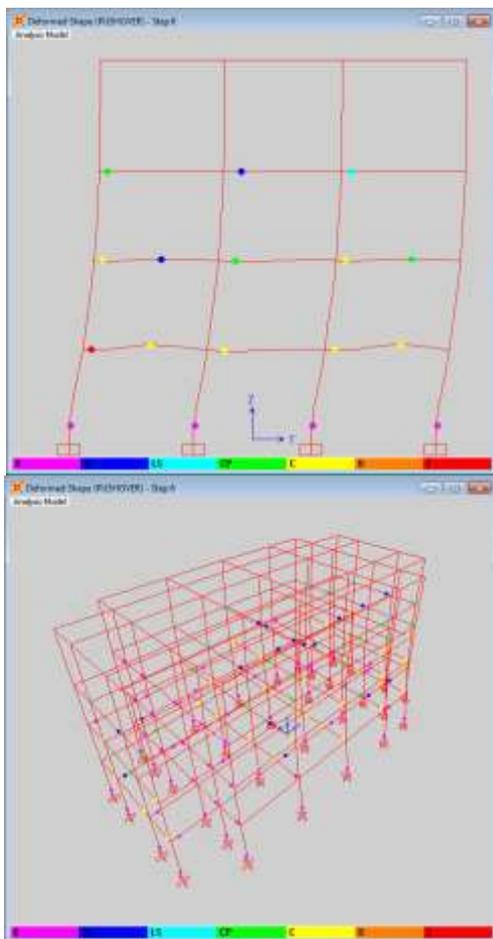
Pada penyajian gambar skema distribusi sendi plastis, diambil Portal arah- Y yang dianggap sebagai sumbu lemah, dengan pertimbangan portal tersebut menjadi parameter utama apabila terjadi keruntuhan.



Gambar 4.5 Step 2 terjadi sendi plastis (Ket: **B**- menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur, **IO**- terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa, **LS**- terjadi kerusakan mulai dari kecil sampai tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan, **CP** terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak. Kecelakaan akibat kejatuhan material mungkin terjadi, **C**- batas maksimum

gaya geser yang masih mampu ditahan gedung, **D**- terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hamper *collapse*, **E**- struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur)

Gambar diatas menunjukkan Sendi plastis mulai terlihat pada step 2 pada saat nilai displacement 0,015 m. elemen kolom dan balok portal muncul sendi plastis dengan level A-B, I-0, LS, CP. Sebagian sendi plastis elemen balok mencapai tahap leleh pertama dengan perilaku nonlinier ditandai dengan warna biru terang. Sebagian sendi plastis balok juga mencapai tahap leleh dengan keadaan struktur balok *Collapse Prevention* dengan perilaku nonlinier ditandai dengan warna hijau.



Gambar 4.6 Sendi plastis Step 6

Pada step 6 program berhenti melakukan iterasi. Sendi plastis muncul hampir di seluruh elemen balok serta beberapa kolom. Pada tahap ini nilai $D = 0,237$ m dan $V = 615,53$ ton. Terjadi penurunan besarnya gaya

geser dasar karena telah memasuki kondisi *limit nonlinier*. Pada kondisi ini mampu memicu keruntuhan total bangunan dengan adanya balok dan kolom yang mengalami keruntuhan.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis static *non-linier* dengan menggunakan metode *Analisis Pushover* dengan bantuan Program SAP 2000 diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan permodelan struktur yang di evaluasi memperlihatkan bahwa gedung hanya mampu menahan gaya gempa sebesar 615,53 ton. Dilihat berdasarkan skala kekuatan gempa bumi menurut C.F.Richter nilai tersebut berada pada kekuatan (magnitudo) 4-4,9 dengan kategori *Light* (ringan).
2. Batasan rasio drift atap diperoleh maksimum total drift sebesar 0,00065 sedangkan maksimum *inelastik drift* - 0,00026 Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa gedung yang dievaluasi termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO),
3. Diperoleh nilai gaya geser dasar efektif pada keadaan linier lebih kecil dari nilai Gaya geser dasar rencana ($V = 71,085 < V_{rencana}$ 115,464 ton). Hal ini menggambarkan bahwa struktur mampu berperilaku non-linier saat terjadi keruntuhan.

Daftar Pustaka

- ATC-40, 1996, *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, volume I*. California, Seismic safety commission state of California.
- Budiono, R.B. & Supriatna, D.L, 2008, Study Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa, Bandung.
- Cosmos wibisono dan Hendro lie, 2008, *Struktur Gedung Beton Bertulang di Bawah Pengaruh Gempa Kuat*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Dewobroto, W. 2006, *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*, Jurusan Teknik Sipil – Universitas Pelita Harapan.
- FEMA-356, 2000, *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Virginia America Society of Civil Engineers.
- Park R and Paulay T, 1975, *Reinforced Concrete Struktur*, United States of Amerika.
- Standar Nasional Indonesia, 2002, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan dan Gedung. SNI-1726-2002. Jakarta: Badan Standar Nasional Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia, 2002, Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa. SNI-2847-2002. Bandung, 2009.
- Satyarno. I & Nawangalam. P, *Modul Short Course SAP 2000 V.11*. Laboratorium Komputasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. 2010.
- Satyarno. I, Nawangalam. P & Pratomo. I.R.P. Belajar SAP2000 seri 1. Yogyakarta.2011.
- Yunalia, 2008, *Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Simetri Empat Lantai Dengan Analisis Statik Nonlinier (Pushover)*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Yosafat Aji Pranata, 2006, *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis*, Jurnal Teknik Sipil, Vol.3, No. 1, Januari 2006. Universitas Kristen Maranatha, Bandung.