
STUDI KINERJA SENDI PLASTIS PADA GEDUNG DAKTAIL PARSIAL DENGAN ANALISIS BEBAN DORONG

Muhammad Ujianto ¹, Wahyu Ahmat Hasan Jaenuri ², Yenny Nurchasanah ³

^{1,2,3} Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl.A.Yani Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah 57162
Email : ujianto@ums.ac.id

Abstrak

Daktilitas struktur gedung sangat penting dan perlu direncanakan. hal ini berpengaruh terhadap ketahanan gedung dalam menahan gaya gempa maksimum rencana yang akan terjadi. Ketika gaya gempa memaksa gedung untuk berdeformasi dan tahapan linier telah terlampaui maka struktur diharapkan dapat berperilaku nonlinier pada sendi-sendi plastisnya. Perencanaan gedung dengan daktail parsial mendesain sebuah skema keruntuhan sendi plastis terjadi pada balok terlebih dahulu dan kemudian diikuti terakhir oleh kolom. Prosedur yang digunakan menggunakan parameter ATC-40 prosedur A. Dengan memberikan gaya gempa statik searah Y dengan bertahap sampai gedung mengalami keruntuhan. Berdasarkan analisis pushover yang dilakukan didapatkan kondisi gedung termasuk dalam kondisi sangat aman. Pada iterasi ketiga kondisi sendi plastis ketika gaya gempa rencana terlampaui masih sampai tahap kinerja *Immediate Occupancy*, artinya gedung dapat langsung dipakai tanpa melakukan perbaikan. Tetapi analisa pushover memaksa struktur untuk mengalami keruntuhan dengan ditunjukkan pertama pada step ke-16 dan iterasi berhenti pada step 18. Hasil iterasi terakhir mempunyai jarak iterasi yang sangat jauh saat *performance point* menunjukkan konsep daktail parsial yaitu balok lemah kolom kuat tidak tercapai. Dengan ditunjukkan oleh keadaan sendi plastis yang pertama mengalami penurunan kinerja pada kolom.

Kata Kunci : Daktilitas, *Immediate Occupancy*, *Performance Point*.

PENDAHULUAN

Pengalaman mengenai bencana gempa yang pernah terjadi di Northridge (1994) dan Kobe (1995), para ilmuwan bekerja keras untuk menemukan cara lain dalam meninjau kekuatan sebuah struktur. Dan ditemukanlah sebuah faktor ketiga setelah kekuatan dan kekakuan yaitu daktilitas. Dengan adanya daktilitas ini para engineer dapat merekayasa struktur yang mempunyai sifat disipasi energi (redaman energi). Dengan sifat daktilitas inilah sebuah struktur dapat ditinjau secara lebih detail mengenai terjadinya keruntuhan pasca kenaikan gaya lateral secara statik akibat gaya gempa. Seperti pada prinsip pegas atau shockbreaker pada kendaraan yang mengurangi getaran ketika kendaraan terjadi guncangan pada titik sumbunya. Sama halnya dengan prinsip daktilitas disini yang telah banyak penelitian bahwa sebuah struktur akan membentuk sebuah perilaku nonlinier setelah titik liniernya terlampaui akibat terjadinya gaya gempa maksimum. Analisis beban dorong pada gedung telah dipakai untuk mengevaluasi bangunan antara lain; Yunalia Muntafi (2012) melakukan evaluasi kinerja bangunan Gedung DPU Kabupaten Wonogiri, evaluasi kinerja seismic struktur beton menggunakan Program ETABS V.9.50. oleh Andityo Budi T (2011), Yanto Dwi (2010) evaluasi perilaku seismic gedung balai kota surakarta pasca gempa dengan nonlinier static metode spektrum kapasitas. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan studi kinerja sendi plastis pada gedung daktail parsial dengan analisis beban dorong. Peristiwa terjadinya kondisi nonlinier terjadi pada setiap batang balok maupun kolom dasar yang mendekati pertemuan joint antara keduanya yang disebut sebagai sendi plastis. Sendi plastis terjadi karena terlampauinya keadaan elastis akibat pengaruh gaya gempa yang berlebih. Dalam perencanaan struktur gedung beton dikenal sistem elastik penuh, daktail parsial dan daktail penuh. Sistem elastik mendesain sendi plastis atau keruntuhan struktur terjadi pada bagian kolom dahulu dan selanjutnya diikuti properties balok. Namun hal ini sedikit mengkhawatirkan karena struktur kolom adalah bagian paling penting dalam bangunan, jika kolom sudah runtuh maka keseluruhan struktur akan runtuh walaupun struktur balok masih dalam performa yang sangat baik. Maka dari itu perlu adanya sistem struktur yang lebih daktail untuk mewujudkan pola keruntuhan akan terjadi pada balok dahulu, sistem ini terbagi menjadi dua yaitu sistem daktail parsial dan daktail penuh. Dalam kedua sistem ini direncanakan struktur balok mengalami penurunan kinerja terlebih dahulu dan selanjutnya struktur kolom.

DASAR TEORI

Pengaruh Gaya Gempa Terhadap Struktur

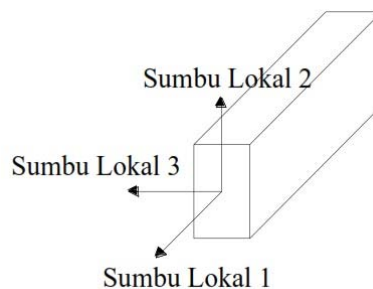
Gaya gempa mempunyai pengaruh yang cukup besar untuk menentukan faktor aman sebuah struktur. Terlebih untuk bangunan yang dibangun pada daerah rawan gempa seperti di Indonesia. Kekuatan dari pergerakan tanah akibat gempa bumi disebut sebagai intensitas gempa. Tiga komponen yang dicatat oleh alat pencatat gempa *accelerograf* untuk lebih respon struktur yaitu amplitudo, frekuensi, dan durasi. Selama terjadi gempa akan tercatat satu atau puncak getaran yang disebut sebagai efek maksimum gempa. Terjadinya gempa bumi menyebabkan getaran pada lapisan tanah yang kemudian energi getar disalurkan ke struktur bangunan. Gerakan gempa berupa vertikal maupun horizontal. Gerakan vertikal hanya sedikit berpengaruh terhadap gaya vertikal yang bekerja pada struktur, terlebih seringkali bangunan direncanakan dengan faktor keamanan terhadap gaya vertikal yang cukup tinggi. Oleh sebab itu jarang sekali dijumpai bangunan akan runtuh oleh faktor gaya gempa vertikal. Sebaliknya gaya gempa horizontal akan menyerang titik-titik lemah pada struktur yang tidak terlalu kuat dan akan menyebabkan keruntuhan. Untuk itu perlu adanya perkuatan pada titik-titik lemah yang umumnya tidak cukup untuk menahan gaya gempa horizontal. Gerakan tanah terhadap struktur menyebabkan gaya inersia karena adanya kecenderungan massa bangunan. Besarnya gaya inersia mendatar F tergantung dari massa bangunan m , percepatan permukaan a dan sifat struktur. Apabila struktur bangunan terhadap pondasi kaku maka menurut hukum Newton dua $F=m.a$. Namun dalam kenyataannya berlainan karena semua struktur bukanlah sebuah komponen yang kaku, namun fleksibel. Bahkan sebuah bangunan bertingkat dapat bergetar dengan berbagai bentuk karena gaya gempa yang dapat menyebabkan lantai pada berbagai tingkat mempunyai percepatan dalam arah yang berbeda-beda. Gaya gempa yang terjadi didalam bumi akan disalurkan oleh lapisan tanah dan akan direspon oleh struktur. Selanjutnya struktur akan beresonansi memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya gempa lebih kecil dari gaya dalam struktur, maka struktur akan kuat dan aman menahan beban gempa. Sebaliknya bila gaya gempa lebih besar dari gaya dalam struktur, maka struktur tidak kuat dan tidak aman menahan beban gempa selanjutnya terjadi keruntuhan.

Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok gedung tersebut. Sendi plastis bekerja hampir sama seperti shockbeker atau pegas yang berguna untuk mengurangi getaran atau dalam kasus ini untuk mengurangi energi (disipasi energi) gempa yang terjadi. Tentunya letak sendi plastis yang direncanakan harus didesain agar mempunyai daktilitas tertentu agar dapat menahan gaya gempa pasca kondisi elastik struktur terlampaui. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur.

a. Hinge Propertis Balok

Data hinge properties dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Karena pada kondisi sumbu M3 ini yang disebut sebagai sumbu kuat balok. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 1.

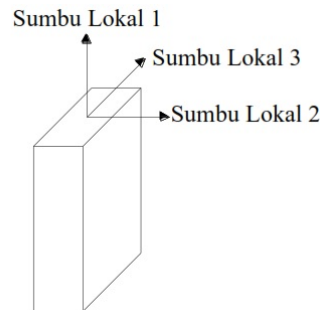


Gambar 1 Posisi sumbu lokal balok struktur pada program SAP2000 v.15

Sumber : Aplikasi Rekaya Konstruksi, Wiryanto Dewobroto

b. Hinge Properties Kolom

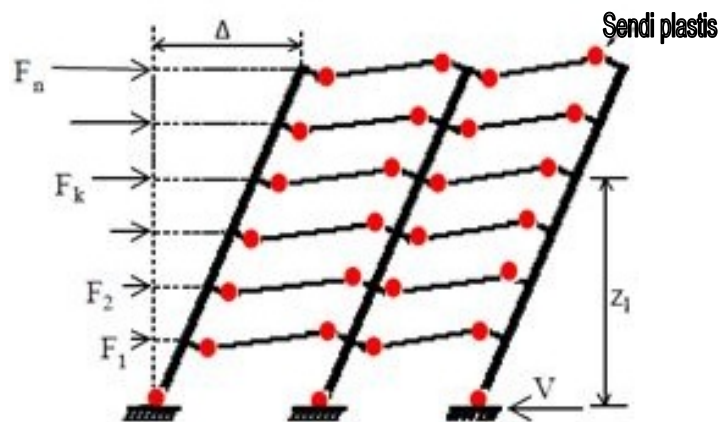
Data hinge properties untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3 yang artinya sumbu kuat dan sumbu lemah kolom adalah sama, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 kolom struktur dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Posisi sumbu lokal kolom struktur pada program SAP2000 v.15

Sumber : Aplikasi Rekaya Konstruksi, Wiryanto Dewobroto

- c. Setelah pendefinisian data hinge properties balok dan kolom adalah penentuan letak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi sendi plastis harus disesuaikan dengan mendekati kondisi nyata dilanpangan, karena akan sangat amempengaruhi hasil perhitungan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua ini terletak dimuka kolom. Sama halnya dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan poisisi akhir dari panjang bersih kolom. Jika struktur lebih kompleks peletakan sendi plastis bisa direncanakan lebih detail dengan meninjau letak sendi plastis terhadap joint. Secara umum sendi plastis pada gedung dapat dipresentasikan seperti pada gambar 3.



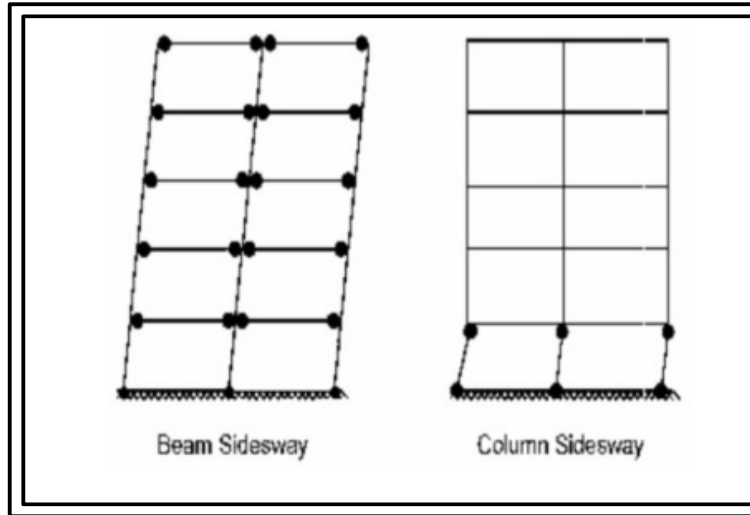
Gambar 3 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom

Sumber : teknikaftui.wordpress.com

Mekanisme Keruntuhan Struktur

Pada perencanaan gedung mekanisme keruntuhan dapat diklasifikasi menjadi dua design yaitu beam sidesway mechanism dan column sidesway mechanism. *Beam sidesway mechanism* yaitu pembentukan sendi plastis direncanakan akan terjadi pertama kali pada ujung-ujung balok terlebih dahulu baru setelah mencapai puncak akan diikuti oleh sendi plastis pada kolom yang didesign

terjadi terakhir. Konsep ini biasa disebut sebagai perencanaan daktail parsial dan daktail penuh dalam konsep perencanaan gedung beton. Sedangkan column sidesway mechanism adalah pembentukan sendi plastis pertama kali terjadi direncanakan pada ujung-ujung kolom dasar, pada konsep disebut sebagai perencanaan elastik penuh. Dalam setiap perencanaannya mekanisme keruntuhan struktur yang diharapkan adalah beam sidesway mechanism, karena ketika gaya gempa maksimum terlampaui bangunan masih dapat berdiri walaupun ada beberapa properties balok mengalami keruntuhan. Pemodelan dua klasifikasi ini dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Sendi plastis beam sidesway dan column sidesway
Sumber : ATC-40

HASIL DAN PEMBAHASAN

Displacement

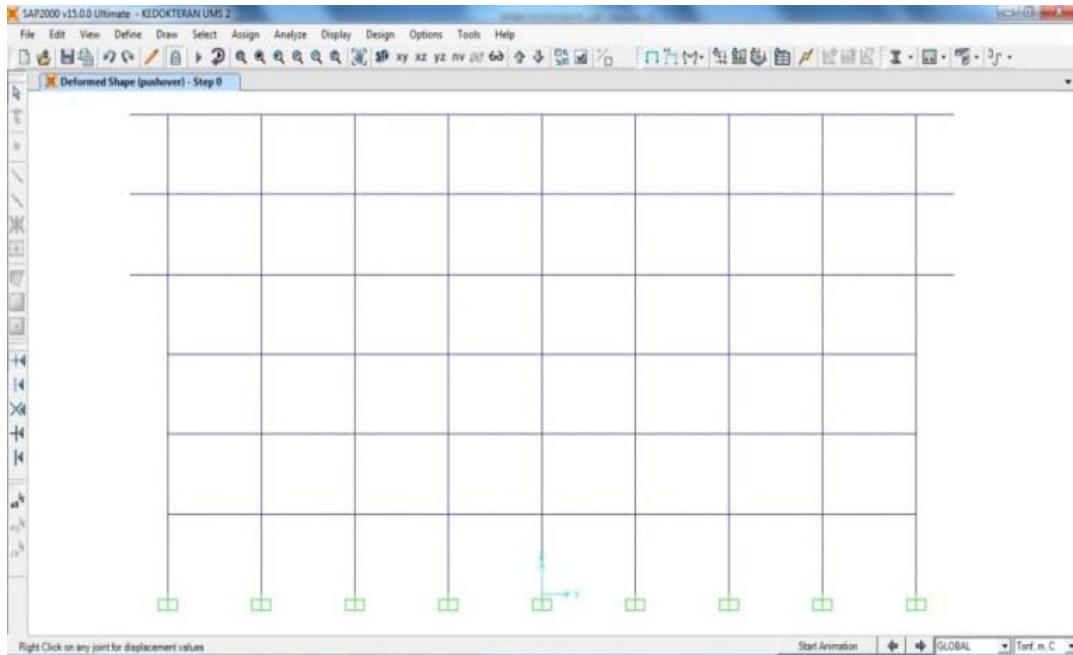
Perpindahan joint yang ditinjau adalah joint 7 pada posisi portal As 1 bagian lantai atap. Karena *displacement* terbesar terjadi pada atap gedung. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. *Displacement* dan Gaya Geser Dasar Hasil *Pushover Analysis*

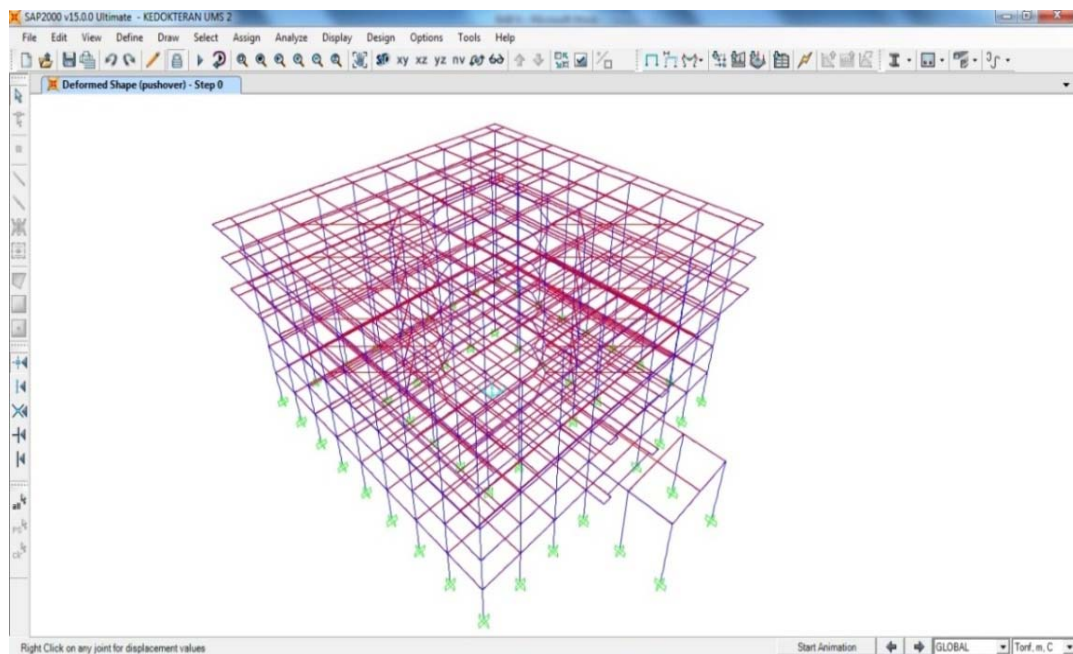
Step Iterasi	<i>Displacement</i> (m)	Gaya Geser Dasar V (ton)
0	0,000000	0,0000
1	0,030000	390,3139
2	0,046161	550,1542
3	0,137468	856,7367
4	0,200521	1030,1840
5	0,172396	665,4772
6	0,198122	997,9521
7	0,197415	988,7832
8	0,198318	1000,4730
9	0,197563	990,6898
10	0,198553	1003,5029
11	0,197906	995,1229
12	0,198529	1003,1918
13	0,197893	994,9401
14	0,198529	1003,1927
15	0,197893	994,9414
16	0,198529	1003,1927
17	0,197893	994,9414
18	0,198529	1003,1927

Skema Distribusi Sendi Plastis

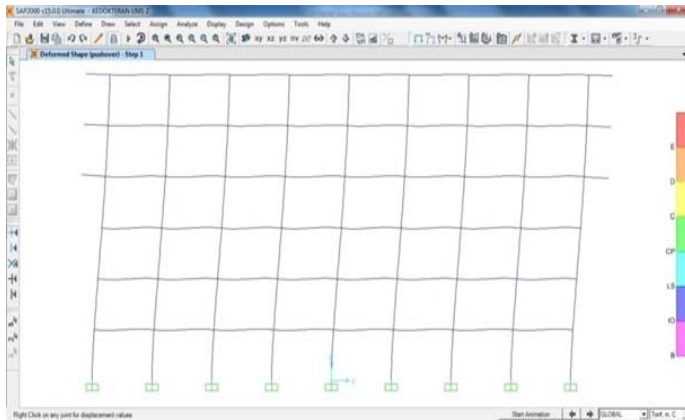
Pada penyajian gambar skema distribusi sendi plastis diambil contoh portal as 1. Dengan pertimbangan portal tersebut membujur searah sumbu Y bangunan dan terdapat kolom utama struktur gedung, sehingga menjadi parameter utama jika terjadi keruntuhan total dan gambar 3 dimensi.



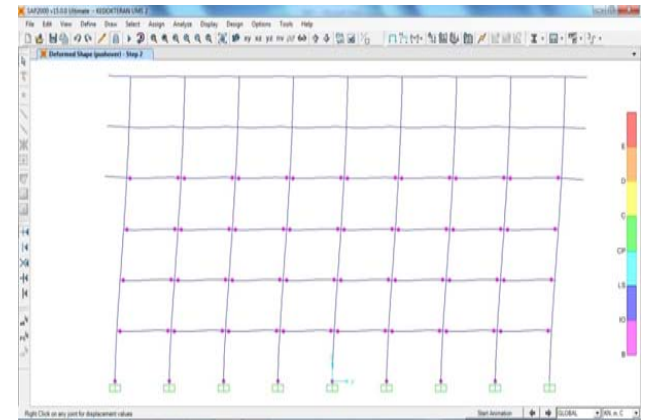
Gambar 5. Gambar Portal As 1 Sendi Plastis Step 0
Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.15



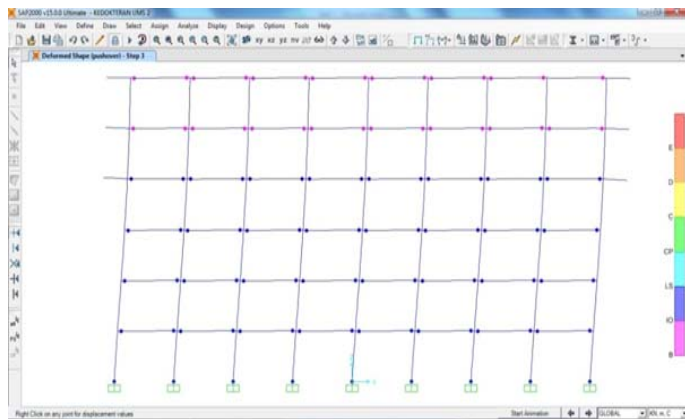
Gambar 6. Gambar Struktur 3D Sendi Plastis Step 0
Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.15



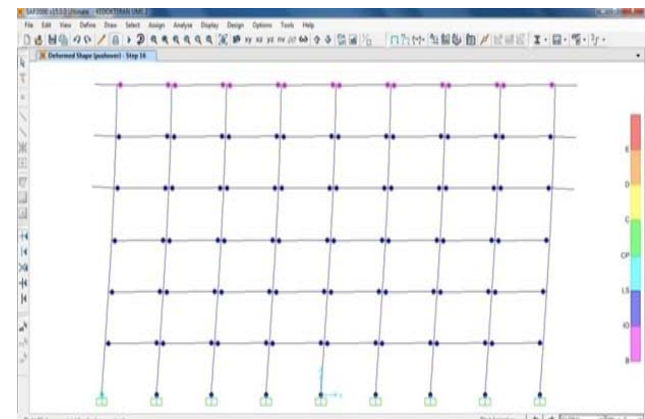
Gambar 7. Gambar Portal As 1 Sendi Plastis Step 1
 Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.1



Gambar 8. Gambar Portal As 1 Sendi Plastis Step 2
 Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.15



Gambar 9. Gambar Portal As 1 Sendi Plastis Step 3
 Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.15



Gambar 10. Gambar Portal As 1 Sendi Plastis Step 16
 Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.15








Tahap pertama, (gambar 7) step 1 pada saat *displacement* 0,030 m belum menunjukkan terjadinya sendi plastis

Tahap kedua, (gambar 8) Step 2 pada saat *displacement* 0,04161 dimana sudah terjadinya keadaan sendi plastis pada balok dan kolom. Namun semua sendi plastis yang terjadi masih dalam level B. Dan di step inilah pertama kali sendi plastis terjadi di kolom lantai dasar.

Tahap ketiga, (gambar 9) step 3 saat *displacement* 0,137468 m dalam pengertian bahwa pada step ini *displacement* sudah melampaui *displacement* maksimum pada *performance point*. dan pada tahap ini hampir semua sendi plastis pada balok dan kolom telah terjadi, serta sudah dalam kondisi *Immediate Occupancy* keseluruhan kecuali sendi plastis pada balok lantai 5 dan atap.

Pada Step 16, (gambar 10) dengan penambahan beban statik secara nonlinier. Maka pada step ini telah muncul pertama kali balok yang melebihi nilai *Immediate Occupancy*. Terutama keruntuhan awal terjadi pada properti balok kolom lantai dasar dengan kondisi *Live Safety* (LS). Dan untuk kolom yang lain menunjukkan masih dalam performa baik serta tidak terjadi keruntuhan dan masih dalam kondisi *Immediate Occupancy* (IO).

Tabel 5.7 Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terjadinya Sendi Plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan 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 nilai keruntuhan
CP		Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C		Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D		Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir collapse
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

KESIMPULAN

1. Hasil output analisis pushover menggunakan sap2000 v.15 menunjukkan pola terjadinya sendi plastis dimulai pada step kedua. Walaupun pada step pertama tidak ada sendi plastis yang terjadi. Selanjutnya pada step ketiga yang merupakan step yang nilai *displacement*nya melebihi *performance point* tidak menampilkan adanya keruntuhan pada sendi plastis. Hingga penurunan kinerja tampak pertama kali pada step ke-16. Sampai pada step terakhir yaitu step 18 tidak nampak sendi plastis yang mengalami kondisi kritis atau collapse.
2. Melihat dari hasil grafik analisis *pushover* gedung yang berperilaku nonlinier. Struktur gedung menunjukkan kondisi sangat aman. Hal ini ditunjukkan pada step ketiga ketika *displacement performance point* sudah terlampaui namun perilaku sendi plastis masih dalam tahap *Operasional* dan *Immediate Occupancy*. Hal ini berarti ketika terjadi gaya gempa terbesar dalam perencanaan sesuai beban gempa rencana pada area 3 dalam SNI 03-1726-2002 terlampaui gedung masih sangat aman dan dapat dipakai tanpa melakukan perbaikan

sedikitpun. Bahkan ketika step itrasi dilanjutkan sampai step terakhir yaitu step 18, gedung baru mengalami sedikit penurunan kinerja. Dan penurunan maksimal dalam step terakhir yang mempunyai jarak sangat jauh dengan step 3 hanya turun sampai tahap *live safety*. Namun konsep desain *Strong Column Weak Beam* pada desain struktur gedung daktail parsial tidak terpenuhi. Hal ini ditunjukkan dengan diawali terbentuknya sendi plastis pada balok lantai 2 dan 3 lalu diikuti seluruh komponen balok dan kemudian baru kolom bereaksi membentuk sendi plastis dalam kondisi *Immediate Occupancy* pada step 3. Yang selanjutnya terjadi penurunan kapasitas menjadi kondisi *Live Safety* pertama kali pada struktur utama kolom dasar pada step 16. Walaupun demikian kondisi struktur gedung masih sangat aman dan tanpa melakukan perbaikan untuk gaya gempa rencana maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council (ATC-40), (1996), "*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*", Volume 1, Redwood City, California.
- Applied Technology Council (ATC-40), (1996), "*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*", Volume II, Redwood City, California.
- Badan Standarisasi Nasional, (1989), "*Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*", SNI 031727-1989, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, (2002), "*Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*", SNI 03-1726-2002, Jakarta.
- Budi P, Anindityo, (2011), Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Prosedur A Menggunakan Programs Etabs V.9.50.
- Dwi Yanto, (2010), Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Balai Kota Surakarta Pasca Gempa Dengan Nonlinier Static Pushover Analysis Metode Kapasitas Spektrum, Teknik Sipil, FT UNS, Surakarta.
- Muntafi Yunalia, (2012), Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis Pushover, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia.
- Tim Perencana Arsitektur Univeritas Muhammadiyah Surakarta (tpaums), (2010), Gambar Kerja Gedung Fakultas Kedokteran, Proyek Pengembangan Kampus IV Universitas Muhammadiyah Surakarta.