



PERBANDINGAN KURVA KAPASITAS PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN VARIASI DIMENSI KOLOM BERDASARKAN ANALISIS *PUSHOVER*

Muhammad Angga Erlangga¹, Atika Ulfah Jamal²,
¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil FTSP UII
email: muhammad.angga.erlangga@gmail.com
²Dosen Program Studi Teknik Sipil FTSP UII
email: atika.ulfah@uii.ac.id

Abstrak: *Indonesia is one of the countries crossed by the ring of fire track world. There are four tectonic plates of the world in Indonesia, the Pacific plate, the Eurasian plate, the Indo-Australian plate and the Philippine plate which met in the Maluku islands. As a result of the many tectonic plates that are in Indonesia is the frequent occurrence of earthquakes both on the intensity of small, medium, or at a high intensity. The structure of the buildings are the most affected by the earthquake. The goal of this research is to determine the capacity curve of the building that designed and to determine the plastic hinge structure when exposed to earthquake loads.*

Structural analysis is performed on two buildings. The first building has a height of 4 levels with a height of 16 meters, the first building has a column with column dimensions uniform. The second building has a height of 4 levels with 16 meters high, the second building has a column with varied dimensions every second level. The analysis is based on the pushover analysis method transfer coefficient (FEMA 356). Analysis of the structure which is used for modeling using statistical software version 14 SAP2000 to be modeled in 3 dimensions. Regulations used for seismic load refers to the SNI 03-1726-2012, for the regulation of loading refers to the SNI 03-1727-1989, and for the calculation of the concrete structure refers to the SNI 03-2847-2002.

Based on the survey results revealed that for the first have a target displacement of $V_t = 539.351$ tons and $\delta_t = 0.140$ meters for the X direction and $V_t = 549.088$ tons and $\delta_t = 0.138$ meters to the Y direction, and for the second building has a target displacement of $V_t = 528.385$ ton and $\delta_t = 0.143$ m for the X direction and $V_t = 533.533$ tons and $\delta_t = 0.141$ meters to the direction Y. Bilinear capacity curve of the graph is also seen that the graph in building 1 has a greater angle so that the stiffness of the building 1 is greater than the stiffness of the building 2. The plastic hinges occur first at both building on the beam, for building one occurred on the 4th floor beams and for the second building occurred on the 2nd floor beams and 3rd floor beams. at the first building building collapse occurred on the 1st floor column and the second building collapse occurred on the 3rd floor of the column.

Keyword : *pushover analysis, designing buildings, column dimensions, capacity curve*

I. Pendahuluan

Negara Indonesia adalah salah satu negara yang dilintasi jalur cincin api dunia. Terdapat empat lempeng tektonik dunia yang ada di Indonesia, yaitu lempeng Pasific, lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Philipine yang bertemu di kepulauan Maluku. Akibat dari banyaknya lempeng tektonik yang terdapat di Indonesia adalah seringnya terjadi gempa bumi baik pada intensitas kecil, sedang, maupun pada intensitas yang tinggi. Hal tersebut berakibat pada desain dari bangunan-bangunan di Indonesia yang harus memperhitungkan beban gempa yang terjadi di wilayah dimana bangunan tersebut akan dibangun.

Dalam ilmu teknik sipil, gempa biasa diartikan sebagai beban dinamis yang menimbulkan gaya berubah-ubah. Beban dinamis yang diakibatkan oleh gempa tersebut dapat mengakibatkan kerusakan struktur yang fatal pada bangunan. Oleh karena itu pengetahuan tentang perilaku struktur yang tahan terhadap gempa sangat diperlukan oleh seorang *civil engineer* dalam mendesain ataupun mengevaluasi kekuatan elemen struktur bangunan yang tahan terhadap resiko gempa. Pada penelitian ini akan digunakan metode koefisien perpindahan menurut FEMA 356 yang telah *built in* pada *software* SAP2000 untuk mengetahui kurva kapasitas bangunan. Hubungan antara perpindahan lateral lantai atap dan gaya geser dasar digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan kapasitas struktur dan dinamakan kurva kapasitas (*capacity curve*). Pada penelitian ini, analisis hanya digunakan untuk memperoleh kurva kapasitas sehingga penelitian ini tidak sampai pada tahap penentuan kinerja bangunan.

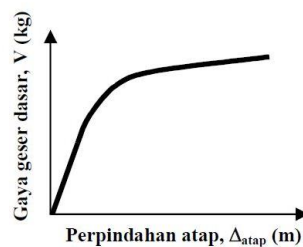
Pada penelitian ini dilakukan analisis *pushover* antara gedung empat tingkat dengan kolom yang memiliki ukuran seragam sampai tingkat keempat dan gedung empat tingkat dengan kolom yang memiliki ukuran berbeda setiap dua tingkatnya. Hasil kurva kapasitas dari kedua macam gedung tersebut kemudian dibandingkan dan dibahas dengan mengacu pada FEMA 356. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi ukuran kolom terhadap hasil kurva kapasitas bangunan dari kedua macam

bangunan dan untuk mengetahui mekanisme terjadinya sendi plastis pada kedua gedung. Untuk memudahkan dalam pemodelan dan analisis pada penelitian ini digunakan *software* SAP2000 v14.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Kurva Kapasitas

Kemampuan struktur amat bergantung pada kekuatan (*strength*) dan kemampuan deformasi dari masing-masing elemen struktur. Untuk dapat menentukan kapasitas struktur di atas kondisi elastik, maka metode analisis non linier seperti *pushover* dapat digunakan. Pada prosedur ini digunakan rangkaian analisis elastis yang berurutan. Model matematikanya dimodifikasi agar kapasitas leleh struktur sedikit demi sedikit berkurang seiring dengan penambahan beban pada struktur bangunan. Pengaruh beban gempa rencana dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sehingga terjadi mekanisme sendi plastis yang pertama di dalam struktur. Kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut, maka akan mengalami perubahan bentuk elastoplastis yang besar sampai mencapai kondisi diambang keruntuhan. (Yuandha, Rina 2007)



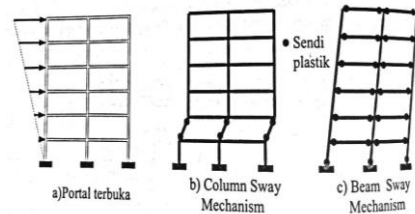
Gambar 1. Kurva kapasitas

Dalam penelitian Lumantarna (2007), 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 dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu.

2.2 Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam. (Sudarman, 2014)

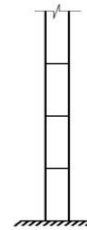
Perencanaan struktur bangunan harus didisain dengan konsep *strong column and weak beam* (SCWB), dengan konsep ini bangunan jika mengalami keruntuhan maka yang akan runtuh terlebih dahulu adalah struktur balok sedangkan kolomnya akan tetap berdiri. Secara logis prinsip SCWB akan mengakibatkan struktur bergoyang menurut *beam sway mechanism* seperti tampak pada Gambar 2.c) di bawah. Pada SCWB, balok sengaja dibuat sedikit lebih lemah dari kolom-kolomnya, dan oleh karenanya apabila level beban terlampaui, maka segera terjadi sendi-sendi plastis yang umumnya terjadi pada ujung-ujung balok dan ujung bawah kolom tingkat dasar. Ditempat-tempat itulah kemudian detail tulangan didesain dan dipasang dengan baik sehingga dapat menjadi elemen yang daktail/ulet/liat. Dengan sifat yang liat, maka elemen dan struktur akan dapat bertahan pada deformasi inelastik yang cukup besar tanpa adanya penurunan kekuatan yang berarti. Apabila demikian maka pada beban gempa yang cukup besar struktur tetap saja rusak tetapi tidak akan runtuh total. Bagaimana cara/prosedur desain yang menghasilkan struktur kolom kuat balok lemah dapat dipelajari pada struktur beton tahan gempa. Pada Gambar 2.a) juga tampak mekanisme goyangan struktur yang lain yaitu *column sway mechanism*, yaitu produk desain yang mengacu pada kolom lemah balok kuat (*Weak Column and Strong Beam*, WCSB). Mekanisme runtuh struktur ini akan mengakibatkan struktur akan runtuh total (*totally collapse*), sehingga dilarang untuk dipakai.



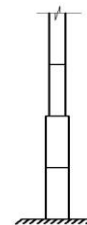
Gambar 2. Mekanisme runtuh pada portal terbuka

2.3 Perubahan Dimensi Kolom pada Beda Tingkat

Ukuran kolom makin ke atas boleh makin kecil, sesuai dengan beban bangunan yang didukungnya makin ke atas juga makin kecil. Perubahan dimensi kolom harus dilakukan pada lapis lantai, agar pada suatu lajur kolom mempunyai kekakuan yang sama. Prinsip penerusan gaya pada kolom pondasi adalah balok portal merangkai kolom-kolom menjadi satu kesatuan. Balok menerima seluruh beban dari plat lantai dan meneruskan ke kolom-kolom pendukung. Hubungan balok dan kolom adalah jepit-jepit, yaitu suatu sistem dukungan yang dapat menahan momen, gaya vertikal dan gaya horisontal. (Sabena Nazar, 2015)



Gambar 3. Kolom dengan dimensi seragam



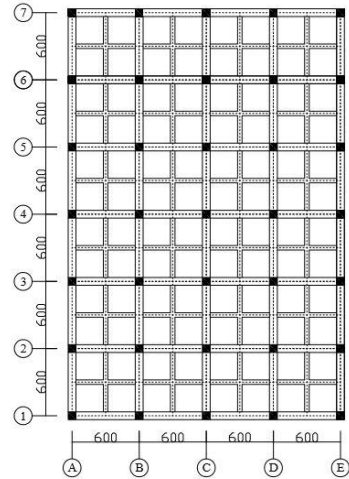
Gambar 4. Kolom dengan variasi dimensi

III. Metode Penelitian

3.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur yang dilakukan dalam *software* SAP2000 adalah dengan portal tiga dimensi (*open frame*). Adapun informasi model bangunan yang diteliti.

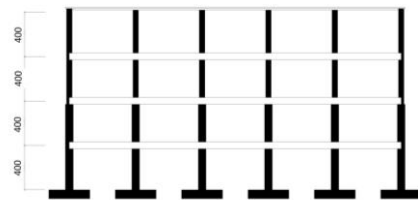
1. Fungsi bangunan adalah untuk hunian atau bangunan tempat tinggal (apartemen).
2. Letak bangunan di Yogyakarta.
3. Bangunan 4 tingkat dengan tinggi 4 meter pada tiap tingkatnya.
4. gedung 1 adalah bangunan gedung dengan dimensi kolom seragam,
5. gedung 2 adalah bangunan gedung dengan variasi dimensi kolom pada setiap 2 tingkat,
6. Mutu beton pada kolom, balok, dan pelat ($f'c$) adalah 15 MPa.
7. Mutu baja tulangan f_y ($\varnothing < 13$ mm, polos) adalah 240 MPa.
8. Mutu baja tulangan f_y ($\varnothing > 13$ mm, ulir) adalah 400 MPa.
9. pelat lantai kaku sempurna (diafragma),
10. pemodelan 3 dimensi (*open frame*),
11. tumpuan diasumsikan jepit,
12. analisis yang dilakukan adalah analisis statis non linier (Analisis Pushover),
13. pemodelan sendi plastis menggunakan auto hinge yang sudah ada dalam SAP2000 v14,
14. lokasi bangunan di D.I Yogyakarta,
15. sistem rangka direncanakan sebagai sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK),
16. jenis tanah adalah tanah sedang,
17. peraturan pembebanan SNI 03-1727-1989,
18. tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung SNI 03-2847-2002,
19. tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 03-1726-2012, dan
20. FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings.



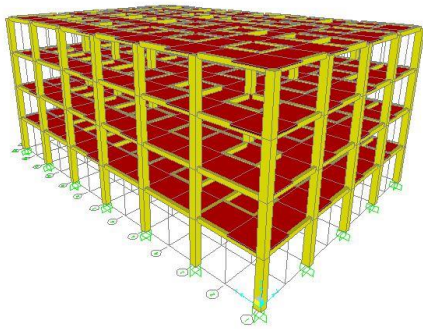
Gambar 5. Denah bangunan untuk gedung 1 dan gedung 2



Gambar 6. Tampak bangunan dengan dimensi kolom seragam pada tiap tingkat



Gambar 7. Tampak bangunan dengan variasi dimensi kolom pada tiap dua tingkat

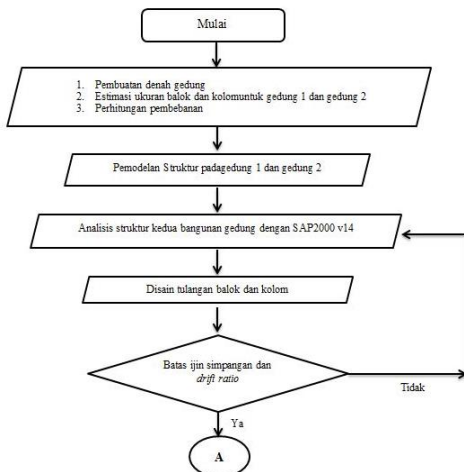


Gambar 8. Tampak 3D pada bangunan yang diteliti

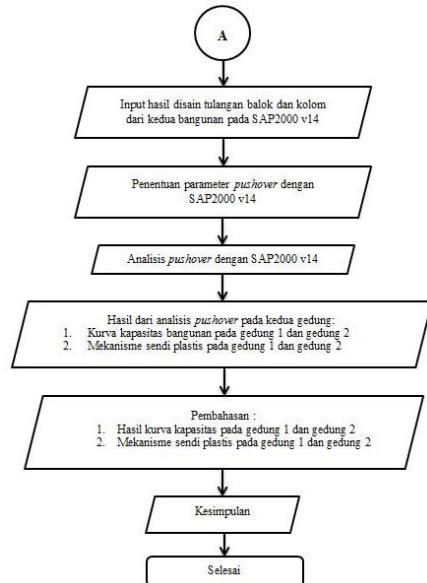
3.2 Analisis Nonlinier Pushover

Adapun beberapa tahapan dalam melakukan analisis *pushover*.

1. Input Parameter FEMA 356 Kedalam Software SAP2000.
2. Input *Plastic Hinge* pada SAP2000.
3. *Input Load Case* Gravitasi pada SAP2000.
4. *Input Load Case Push X* dan *Push Y* pada SAP2000.
5. Pelaksanaan *Running Pushover Analisis*.



Gambar 9. Bagan alir penelitian



Lanjutan Gambar 9. Bagan alir penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

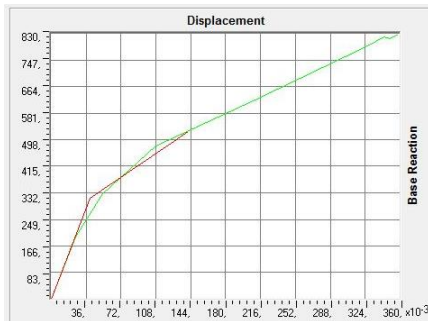
Hasil analisis *pushover* berupa kurva kapasitas dan sendi plastis. Kurva kapasitas adalah hubungan antara besar percepatan tanah terhadap periode waktu, sedangkan sendi plastis adalah bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam.

4.1 Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)

Terdapat dua gedung dalam penelitian ini yaitu untuk gedung 1 adalah gedung dengan kolom persegi berdimensi seragam dan gedung 2 adalah gedung dengan variasi dimensi kolom pada tiap dua lantainya. Adapun kedua hasil dari analisis *pushover* berupa kurva kapasitas dan perbandingannya.

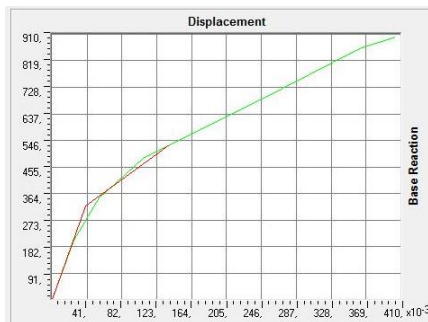
1. Gedung 1 (kolom persegi dengan ukuran seragam)

Untuk arah X sendi plastis pertama terjadi pada step-1 dengan *displacement* sebesar 0,02483 meter dan *base force* sebesar 193,7008 ton, dan yang terakhir terjadi pada step-8 dengan *displacement* sebesar 0,3586 meter dan *base force* sebesar 827,0667 ton.



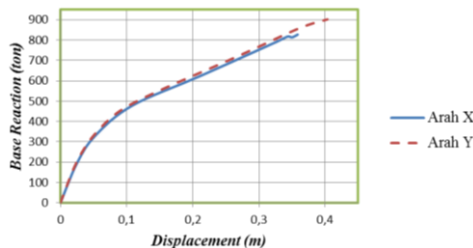
Gambar 10. Kurva *pushover* arah X dengan metode FEMA 356 pada gedung 1

Untuk arah Y sendi plastis pertama terjadi pada step-1 dengan *displacement* sebesar 0,02491 meter dan *base force* sebesar 202,2776 ton, dan yang terakhir terjadi pada step-8 dengan *displacement* sebesar 0,4036 meter dan *base force* sebesar 901,8393 ton.



Gambar 11. Kurva *pushover* arah Y dengan metode FEMA 356 pada gedung 1

Perbandingan kurva *pushover* antara gedung 1 arah X dan arah Y.



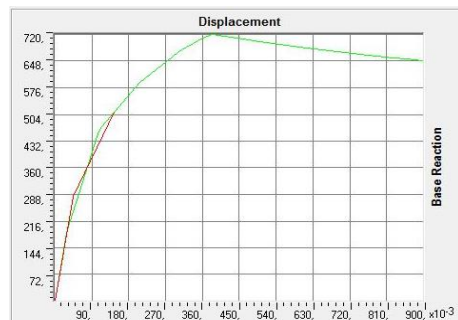
Gambar 12. Perbandingan kurva *pushover* gedung 1 antara arah X dan arah Y

Terlihat perbedaan dari grafik di atas berupa *displacement* dan *base reaction* yang memiliki nilai berbeda dari kedua arah

pembebanan. Pada pembebanan arah X terlihat memiliki *base reaction* dan *displacement* yang lebih besar daripada pembebanan arah Y. Perbedaan tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan bentang dari kedua arah pembebanan yang berakibat juga pada perbedaan daktilitas yang dimiliki dari kedua arah pembebanan tersebut. Pada pembebanan arah Y memiliki daktilitas yang lebih besar sehingga *displacement* dan *base reaction* pada arah Y menjadi lebih besar.

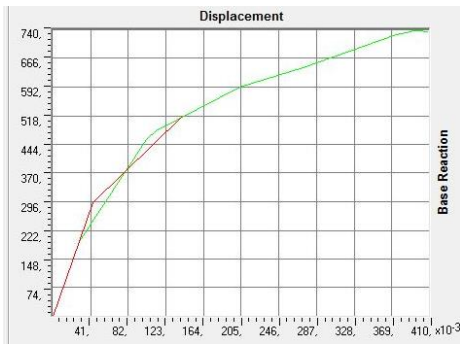
2. Gedung 2 (kolom persegi dengan ukuran variasi pada dua tingkat)

Untuk arah X sendi plastis pertama terjadi pada step-1 dengan *displacement* sebesar 0,02854 meter dan *base force* sebesar 185,9298 ton, dan yang terakhir terjadi pada step-26 dengan *displacement* sebesar 0,9 meter dan *base force* sebesar 648,6259 ton.



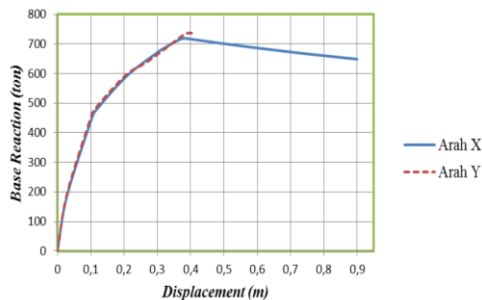
Gambar 13. Kurva *pushover* arah X dengan metode FEMA 356 pada gedung 2

Untuk arah Y sendi plastis pertama terjadi pada step-1 dengan *displacement* sebesar 0,02875 meter dan *base force* sebesar 194,0749 ton, dan yang terakhir terjadi pada step-14 dengan *displacement* sebesar 0,4093 meter dan *base force* sebesar 735,4095 ton.



Gambar 14. Kurva *pushover* arah Y dengan metode FEMA 356 pada gedung 2

Perbandingan kurva *pushover* antara gedung 1 arah X dan arah Y.



Gambar 15. Perbandingan kurva *pushover* gedung 2 antara arah X dan arah Y

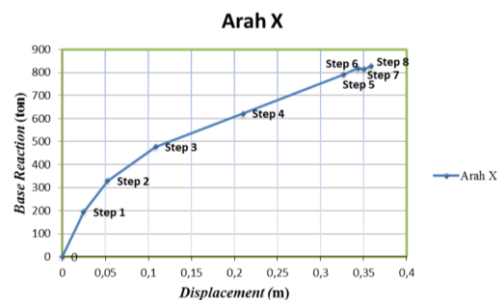
Terlihat perbedaan dari grafik di atas berupa displacement dan *base reaction* yang memiliki nilai berbeda dari kedua arah pembebanan. Pada pembebanan arah X terlihat memiliki *displacement* yang lebih besar daripada pembebanan arah Y. Perbedaan tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan bentang dari kedua arah pembebanan yang berakibat juga pada perbedaan kekakuan yang dimiliki dari kedua arah pembebanan tersebut. Daktilitas pada pembebanan arah X lebih besar sehingga *displacement* pada arah X menjadi lebih besar.

4.2 Sendi Plastis

Untuk melihat mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur klik menu *Display* –

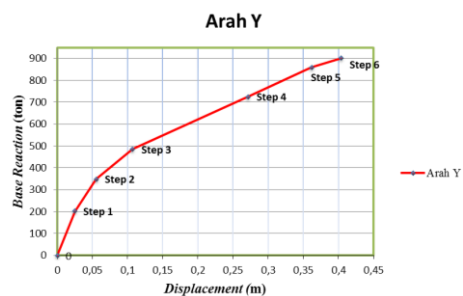
Show Deformed Shape, lalu pada kolom *Case/Combo Name* pilih definisi beban lateral yang telah dibuat misal PUSHX untuk beban lateral arah x dan PUSHY untuk beban lateral arah y. Kemudian pada pilihan *Multivalued Option* pilih *step* ke-berapa sendi plastis pertama struktur muncul sampai kondisi struktur inelastis. Sendi plastis terjadi ketika besar gaya geser dan gaya lentur yang terjadi akibat beban gempa, lebih besar daripada kapasitas struktur tersebut.

1. Sendi plastis gedung 1



Gambar 16. Sendi plastis struktur gedung 1 arah X

Sendi plastis pada gedung 1 arah X pertama terjadi pada balok lantai 4 pada step ke-1 yang dapat terlihat pada Lampiran 11. Sendi plastis terbesar terjadi pada step ke-8 pada step ke-8 ini sendi plastis sudah terjadi juga pada kolom lantai 1 dan pada step ini bangunan sudah mengalami keruntuhan.

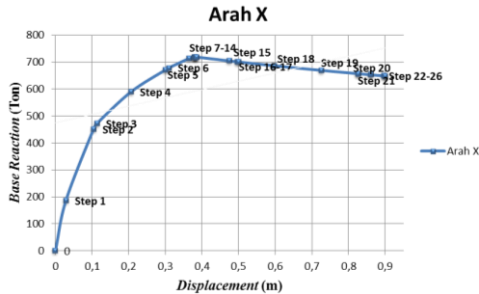


Gambar 17. Sendi plastis struktur gedung 1 arah Y

Sendi plastis pada gedung 1 arah Y pertama terjadi pada balok lantai 4 pada step ke-1 yang dapat terlihat pada Lampiran 15. Sendi plastis terbesar terjadi pada step ke-6 pada step ini

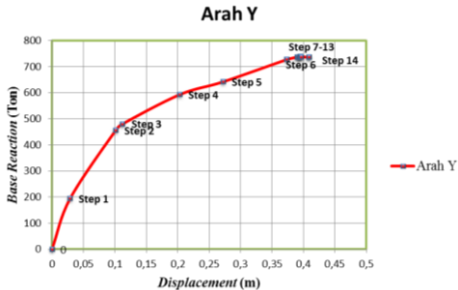
sendi plastis juga sudah terjadi pada kolom lantai 1 dan bangunan juga sudah dalam kondisi keruntuhan (*collapse*).

2. Sendi plastis gedung 2



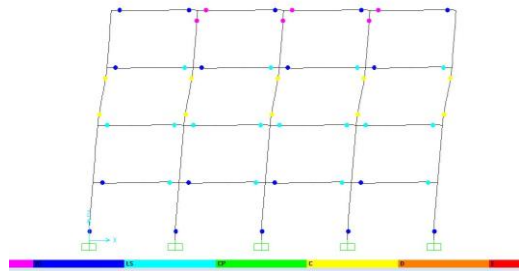
Gambar 18. Sendi plastis struktur gedung 2 arah X

Sendi plastis pada gedung 2 arah X pertama terjadi balok lantai 2 dan lantai 3 yang terlihat pada Lampiran 18. Pada step ke-7 kolom lantai 3 sudah mengalami keruntuhan dan berlanjut sampai step ke-26 dimana bangunan benar-benar mengalami keruntuhan.



Gambar 19. Sendi plastis struktur gedung 2 arah Y

Sendi plastis pada gedung 2 arah Y pertama terjadi balok lantai 2 dan lantai 3 yang terlihat pada Lampiran 31. Pada step ke-7 kolom lantai 3 sudah mengalami keruntuhan dan berlanjut sampai step ke-14 dimana bangunan benar-benar mengalami keruntuhan.



Gambar 20. *Soft story* pada bangunan gedung 2

Pada analisis ini terindikasi terjadinya *soft story* yang terjadi karena adanya perbedaan dimensi kolom pada lantai 3 dan lantai 4 gedung. Perbedaan tersebut mengakibatkan terjadinya perbedaan kekakuan pada bangunan yang berdampak pada terjadinya *soft story* pada bangunan tersebut.

V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil analisis SAP2000 yang dihasilkan dari perencanaan gedung struktur beton bertulang pada tugas akhir ini menyimpulkan bahwa hasil analisis pada bangunan gedung 1 yaitu bangunan gedung dengan kolom persegi dan dengan dimensi kolom seragam serta bangunan gedung 2 yaitu bangunan gedung dengan kolom persegi dan dengan dimensi kolom variasi setiap 2 tingkat memiliki target perpindahan yang berbeda. Pada gedung 1 arah pembebanan X diperoleh target perpindahan $V_t = 539,351$ ton dan $\delta_t = 0,140$ m dan pada arah pembebanan Y diperoleh target perpindahan $V_t = 549,088$ ton dan $\delta_t = 0,138$ m. Pada gedung 2 arah pembebanan X diperoleh target perpindahan $V_t = 528,385$ ton dan $\delta_t = 0,143$ m dan pada arah pembebanan Y diperoleh target perpindahan $V_t = 533,533$ ton dan $\delta_t = 0,141$ m. Dari grafik bilinear kurva kapasitas juga terlihat bahwa grafik pada gedung 1 memiliki sudut yang lebih besar sehingga kekakuan pada gedung 1 lebih besar daripada kekakuan pada gedung 2.
2. Sendi plastis yang terjadi pada 2 bangunan tersebut, yakni struktur bangunan gedung 1 arah pembebanan X mengalami sendi plastis pertama pada balok lantai 4 pada step ke-1 dan sendi plastis terbesar terjadi pada step ke-8 pada step ke-8 ini sendi plastis sudah terjadi juga pada kolom lantai 1 dan pada step ini

bangunan sudah mengalami keruntuhan, lalu arah pembebanan Y mengalami sendi plastis pertama juga pada balok lantai 4 pada step ke-1 dan sendi plastis terbesar terjadi pada step ke-6 pada step ini sendi plastis juga sudah terjadi pada kolom lantai 1 dan bangunan juga sudah dalam kondisi keruntuhan (collapse). Untuk struktur bangunan gedung 2 arah pembebanan X mengalami sendi plastis pertama pada step ke-1 terjadi pada balok lantai 2 dan lantai 3. Pada step ke-7 kolom lantai 3 sudah mengalami keruntuhan dan berlanjut sampai step ke-26 dimana bangunan benar-benar mengalami keruntuhan, lalu arah pembebanan Y sendi plastis pertama terjadi pada step ke-1 yang terjadi pada balok lantai 2 dan lantai 3 dan pada step ke-7 kolom lantai 3 sudah mulai mengalami keruntuhan dan berlanjut sampai step ke-14 dimana bangunan benar-benar mengalami keruntuhan. Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk gedung 1 dimana kolom didesain dengan ukuran yang seragam, bangunan tersebut mengalami keruntuhan pada kolom lantai 1 sedangkan untuk gedung 2 dimana kolom didesain dengan variasi dimensi setiap 2 tingkatnya, bangunan tersebut mengalami keruntuhan yang terjadi pada kolom yang lebih kecil atau pada kolom lantai 3. Pada gedung 2 terjadi kegagalan soft story yang mengakibatkan runtuhnya bangunan pada lantai 3 bangunan.

5.2 Saran

1. Untuk lebih memahami penelitian ini hendaknya membuat kasus pada bangunan yang lebih tinggi (*high rise building*) dan dengan jenis pembebanan yang berbeda.
2. Hendaknya melanjutkan penelitian ini menggunakan software ETABS ataupun dengan menggunakan *software-software* yang lain untuk dapat membandingkan keakuratan hasil analisis.
3. Hendaknya melanjutkan penelitian dengan menggunakan prosedur analisis pushover lain seperti dengan ATC-40.
4. Hendaknya dicoba menggunakan bentuk kolom persegi panjang untuk bisa mengetahui perilaku bangunan jika menggunakan kolom dengan bentuk persegi panjang.

VI. Daftar Pustaka

FEMA 356 *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*

Imran, Iswandi, dkk. 2010. Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa. ITB, Bandung.

Muljati, Ima.G., Lumantarna B. 2010. *Seismic Performance Evaluation of Building with Pushover Analysis*, Tesis. Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Peraturan Pembebanan SNI 03-1727-1989
Sabena, Nazar. 2015. Konstruksi dan Struktur Bangunan. Aceh

Sudarman. 2014. Analisis *Pushover* pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium, Jurnal. Universitas Sam Ratulangi.

Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002

Tata Tara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012

Widodo. 2012. Desain Portal Tahan Gempa. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Widodo. 2012. Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Yuandha. D, Rina, dkk. 2007. Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Balok Kolom dan *Flat Slab* terhadap Beban Gempa Kuat. Institut Teknologi Bandung, Bandung.