

PERBANDINGAN KURVA KAPASITAS PADA STRUKTUR KOLOM BETON BERTULANG ANTARA KOLOM PIPIH DAN KOLOM BUJUR SANGKAR

Rizky Dwiturnianto¹, Atika Ulfah Jamal²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: rizkydwiturnianto@gmail.com

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: atika.ulfah@uii.ac.id

Building design grows by the time with the many innovations appear such as buildings with flat columns or other types, in order to maximize the function of room or adorn the building. Therefore, it is necessary to make a research in order to find out and compare the usual columns design or square column which it will be compare to the building design with the flat column in order to know the shape of the capacity curve. It also will compare the capacity curves and plastic joint mechanisms that occur in structures using flat columns and square column.

In this study, the structure modeled in three dimensions with open frame structure type. Gravity loading referred to SKBI 1.3.53.1987 and earthquake loading referred to SNI 03-1726-2012. Structural design elements planned to SNI 03-2847-2013. The pushover analysis referred to the ATC 40 (1996) procedure that automatically applied in SAP 2000 Version 14. And then, researcher used the Response 2000 to analysis of cross section of column and beam structure to obtain the moment curvature as the input of Hinge property on pushover.

The result of this study showed that the shape of capacity curve with square column had the smaller degree slope of the curve than the structure with the flat columns. It also showed that the base force value produced by the structure with the square column is 1244.66 kN larger than the flat column of 1179,25 kN. Plastic joints that occur in structures with flat columns occur earlier than structures with square columns that can be seen from the melting values of the pushover analysis curve ie $V_x = 1000.533$ (x direction flat column), $V_y = 1019,486$ (y direction flat column), $V_x = 1078,805$ (x direction square column) and $V_y = 1071,549$ (y direction square column). In step 1 the plastic joints on the square column occur in port 3 on the beam of 19 portal 3 x direction, and in step 1 the y-direction of the plastic joints in the square column begins on the beam of the 9 portal e of the 1st floor y direction. In the x direction of plastic joint flat column took place in the beam of 25 on portal 2 and y direction on the 1st to 3rd floor beams in the y direction.

Keywords: Pushover Analysis, Capacity Curve, Slender Column, Square Column, Plastic Joint

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini penggunaan kolom pipih mulai sering digunakan dalam pembangunan gedung di Indonesia karena penggunaan kolom pipih pada struktur gedung dapat memperluas dan memperindah ruangan dengan tidak terlihat pada sudut-sudut ruangan atau mendekati rata dengan dinding, sehingga kolom tidak terlihat menonjol keluar. Kolom pipih memiliki perbedaan dalam desain serta perilaku kolom dengan kolom bujur sangkar/bujur sangkar yang biasa digunakan.

Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi paling atas hingga ke elevasi paling bawah dan sampai ke tanah melalui pondasi. Kekuatan kolom untuk memikul beban didasarkan pada kemampuan

memikul beban kombinasi beban aksial (Pu) dan momen (Mu) secara beramaah. Oleh karena itu perlu dilakukan tinjauan terhadap kapasitas struktur dengan kolom pipih dalam menopang beban bangunan dan membandingkannya dengan kurva kapasitas kolom bujur sangkar. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan kurva kapasitas yaitu struktur tersebut adalah analisis *pushover*. Analisis *pushover* menghasilkan kurva kapasitas, kurva yang menghubungkan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D).

Kurva kapasitas dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Kurva tersebut tersebut digunakan untuk

memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis dalam kolom pipih pada struktur gedung pada penelitian ini.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk:

- mengetahui bentuk kurva kapasitas dari struktur dengan kolom pipih dan kolom bujur sangkar,
- mengetahui perbandingan kurva kapasitas pada struktur gedung beton bertulang dengan kolom pipih dan kolom bujur sangkar, dan,
- mengetahui mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur dengan kolom pipih dan kolom bujur sangkar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kolom Pipih Beton Bertulang

Kolom adalah bagian dari elemen struktur gedung yang menerima beban aksial (P) dan beban lentur momen (M). Untuk mengetahui kemampuan kolom tersebut dalam menerima beban yang bekerja, maka perlu membuat diagram interaksi kolom yaitu diagram yang menggambarkan hubungan antara gaya aksial (P) dan momen (M). Diagram yang menunjukkan hubungan antara kemampuan teoritis aksial P_n dan lentur M_n penampang kolom.

Penelitian limbongan dkk (2016) menunjukkan bahwa untuk struktur bangunan dengan bentang 4m, ukuran kolom pipih yang paling efektif dan efisien adalah 20 cm dengan tinggi 3,2 dan rasio kelangsingan $40,4 > 22$.

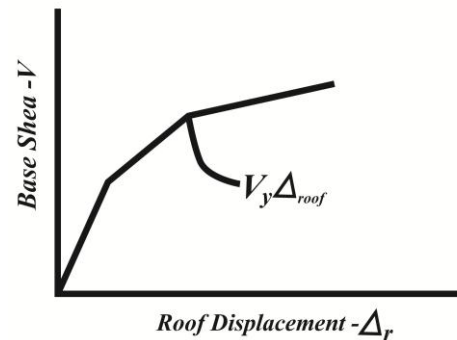
Hasil penelitian Frans dkk (2013) mengenai studi komparasi diagram interaksi kolom pipih beton bertulang, dengan bentuk penampang huruf L dan T menunjukkan bahwa terjadi peningkatan rasio tulangan untuk kolom L dari 1% menjadi 2% dan untuk kolom T rasio tulangan meningkat dari 1% menjadi 3% jika dibandingkan dengan rasio tulangan kolom bujur sangkar

2.2. Analisis Struktur Nonlinier dengan Beban Dorong (*Pushover*)

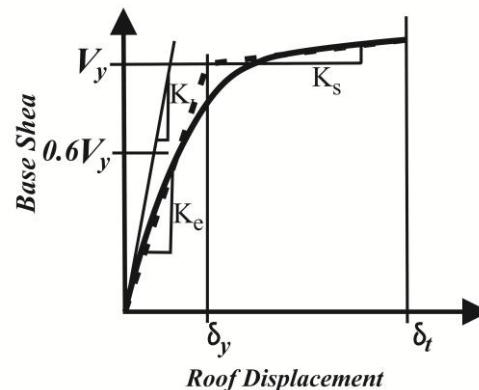
Menurut Hizkia (2014), analisis beban dorong statik (*Static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang mengakibatkan pelelehan disatu atau beberapa lokasi distruktur tersebut,

kemudian dengan peningkatan beban menjadi perubahan bentuk elastoplastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.

Salah satu hasil analisis *pushover* adalah kurva kapasitas. Kurva kapasitas berupa hubungan antara gaya dasar (*base shear*) dengan perpindahan atap (*roof displacement*). Akibat beban lateral. Kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan banyak (*Multi Degree Of Freedom System, MDOF*). Hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*) pada kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 berikut.



Gambar 1 Kurva Kapasitas (sumber : ATC-40, 1996)



Gambar 2 Representasi Bilinier dari Kurva kapasitas (sumber : ATC-40, 1996)

Menurut Budi (2011) dalam penelitiannya untuk mengetahui kinerja gedung dapat menggunakan analisis *pushover*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa berdasarkan kurva kapasitas dapat diketahui bahwa gaya geser arah x lebih besar dari gaya geser rencana dan nilai displacement pada gedung tidak melampaui displacement maksimal sehingga gedung aman terhadap gempa rencana. Hizkia (2014) telah melakukan penelitian

menggunakan analisis pushover untuk mengetahui kurva kapasitas pada bangunan dengan *soft first story*. Hasil Penelitian menunjukkan gaya geser maksimum terjadi pada gedung *non soft story* yaitu sebesar 2.334 ton. Gaya geser terkecil terjadi pada gedung *soft first Story 2* yaitu sebesar 1.359 ton. Sedangkan simpangan maksimum terjadi pada gedung *non soft story* yaitu sebesar 0,34 m dan yang paling kecil pada gedung *soft first story 2* yaitu sebesar 0,26 m.

Hasil penelitian Dewi (2016) pada salah satu gedung rusunawa menunjukkan bahwa kinerja kurva kapasitas arah x lebih condong ke bawah membentuk sudut kemiringan yang lebih kecil dibandingkan kurva kapasitas arah y. Kemiringan kurva dapat memberikan gambaran terhadap kekakuan bangunan.

2.3. Pendefinisian Sendi Plastis pada Analisis Pushover

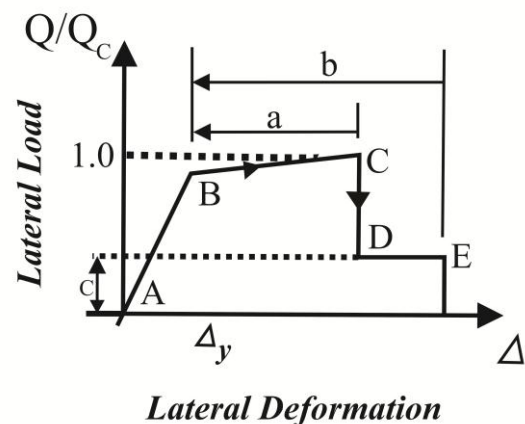
Sendi plastis dapat terjadi pada suatu struktur portal berderajat kebebasan banyak MDOF (*Multi Degree of Freedom*). Sendi plastis terjadi secara bertahap sampai bangunan gedung runtuh. Permodelan sendi dilakukan untuk memodifikasi perilaku non linier force – deformation pada elemen struktur. Karakter deformasi elemen struktur sangat penting untuk mensimulasikan pembentukan sendi plastis dalam proses pembentukan kurva kapasitas hasil analisis *pushover* (Cinitha et al, 2012).

Terdapat 2 metode sendi yang digunakan dalam sendi pastis yaitu Hinge properties kolom dan Hinge Properties Balok. Sendi plastis terjadi di ujung balok atau di dasar kolom/ dinding bawah (*beam sway*). Pola ini tidak begitu bahaya karena tidak ada efek p-delta (sangat kecil), sehingga diperlukan banyak sendi plastis untuk mencapai keruntuhan. Sendi plastis pada kolom (*column sway*). Pola ini terjadi maka keadaan bahaya karena p-delta akan memicu terjadi keruntuhan bangunan. Pendefinisian sendi plastis dapat menggunakan hasil analisis penampang komponen struktur dengan menggunakan momen-curvatur maupun load deformation. Menurut Rethod dan Dyavanal (2014) sendi plastis yang digunakan dalam analisi statik non linier merupakan grafik turunan dari grafik momen-curvatur.

Perilaku Balok sebagai komponen struktur penahan lentur dapat di dekati dengan menggunakan analisis momen-curvatur. Hal ini seperti penggunaan kurva beban deformasi pada elemen struktur. Deformasi pada bangunan di asumsikan terjadi karena momen yang muncul

akibat beban lateral pada saat terjadi gempa. Hubungan beban lateral dan deformasi. Perhitungan momen-curvatur untuk balok (M3-V3), kolom (P-M2-M3) dan kurva load deformation untuk elemen struktur, diinputkan sebagai nilai *hinge properties* pada software SAP200 V14.

Menurut Afandi (2010), struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidak mampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Sendi plastis akibat momen lentur terjadi pada struktur jika beban yang bekerja melebihi kapasitas momen lentur yang ditinjau. Semakin banyak sendi plastis yang terjadi berarti semakin bagus, karena semakin banyak terjadi pemecah energi dari terbentuknya sendi plastis sebelum struktur terlampaui.



Gambar 3 Grafik antara beban lateral dan deformasi dalam permodelan Sendi Plastis Pada Analisis *Pushover*(sumber : ATC-40, 1996)

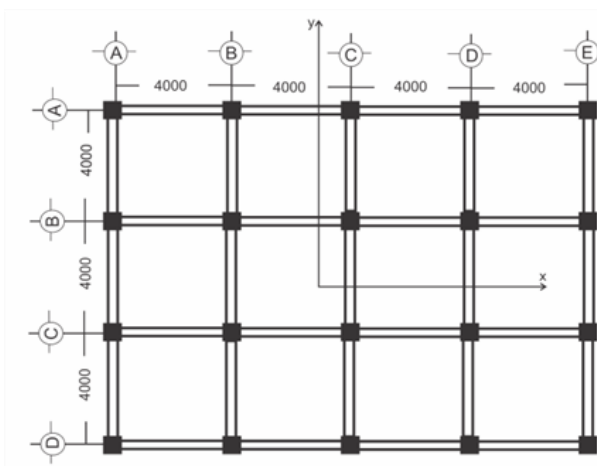
3. METODE PENELITIAN

3.1. Batasan Masalah

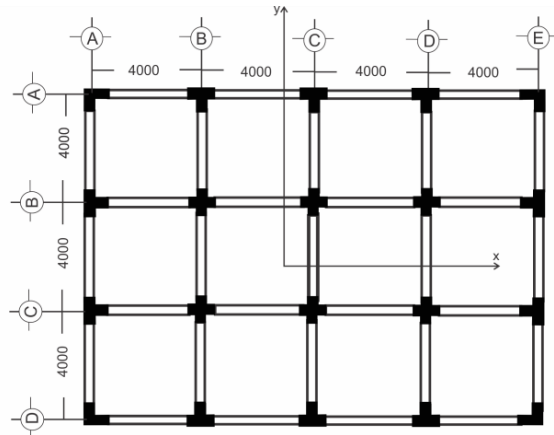
Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang.
2. Struktur gedung berfungsi sebagai gedung hunian.
3. Bangunan yang ditinjau bangunan bertingkat 4 (empat)
4. Denah struktur gedung adalah beraturan atau *reguler*, serta terletak di kota Yogyakarta dengan kondisi tanah sedang.
5. Permodelan struktur yang adalah *open frame*

6. Pembebanan gedung meliputi :
 - a. beban mati (berupa berat sendiri struktur),
 - b. beban hidup (beban akibat fungsi bangunan),
 - c. beban lateral (berupa beban gempa horizontal).
 7. Peraturan yang digunakan, meliputi :
 - a. perencanaan beban hidup dan beban mati menggunakan peraturan SKBI 1.3.53.1987,
 - b. perencanaan beban gempa menggunakan peraturan SNI 03-1726-2012,
 - c. perencanaan beton bertulang menggunakan peraturan SNI 03-2847-2013,
 - d. pedoman yang digunakan untuk analisis *pushover* menggunakan ATC-40.
 8. Analisis yang dilakukan :
 - a. analisis *pushover* menggunakan program SAP 2000,
 - b. analisis penampang balok dan kolom untuk mendapatkan hubungan *moment* dan *curvature* sebagai input *Hinge property pushover* analisis, yaitu menggunakan *software response* 2000.
 9. Struktur bawah tidak dianalisis.
 10. Di dalam analisis struktur semua tumpuan diasumsikan jepit.
 11. Analisis dibatasi untuk mendapatkan perbandingan kurva kapasitas tidak sampai pada batas kinerja struktur.
- Berikut gambar denah bangunan dengan kolom kolom bujur sangkar dan kolom pipih yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan .

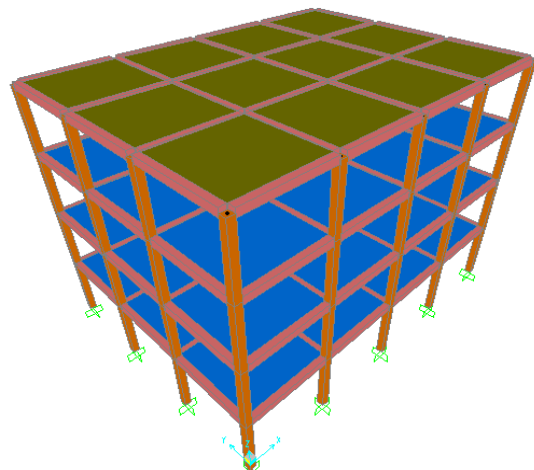


Gambar 4 Denah bangunan kolom bujur sangkar



Gambar 5 Denah bangunan kolom bujur sangkar

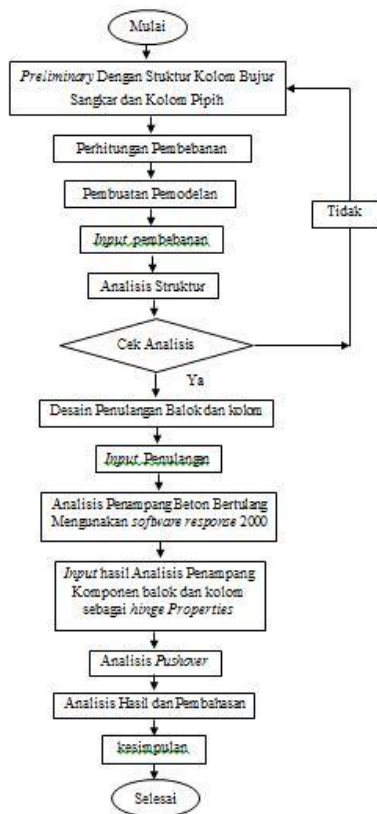
Pemodelan struktur dibuat berupa *open frame* tiga dimensi. Pada pemodelan dalam penelitian ini menggunakan 2 model stuktur yaitu dengan menggunakan kolom pipih dan bujur sangkar. Dinding pasangan bata tidak dimodelkan tetapi dinding dianggap sebagai beban pada bangunan, ditunjukkan pada Gambar 6.



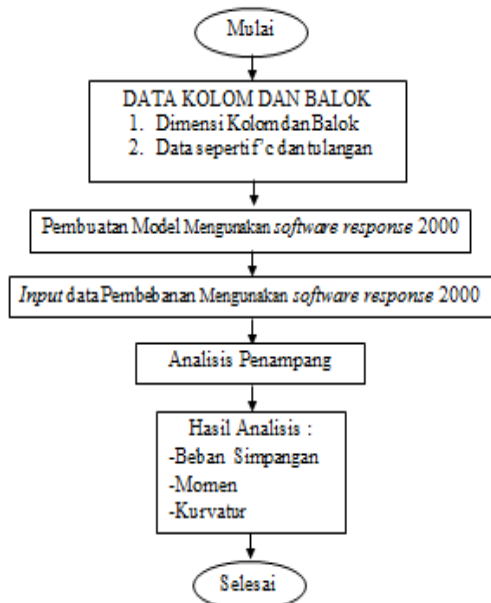
Gambar 6 Pemodelan struktur 3D

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian disajikan dalam bagan alir pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Bagan alir penelitian



Gambar 8 Bagan Alir Penelitian Analisis Penampang dengan software response 2000

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Gaya Geser Dasar Rencana

Perhitungan pada gaya geser rencana mengacu pada SNI 03-1726-2012, nilai berat bangunan (W_i) dan gaya geser dasar (F_i) dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Berat bangunan dan Gaya geser dasar kolom bujur sangkar

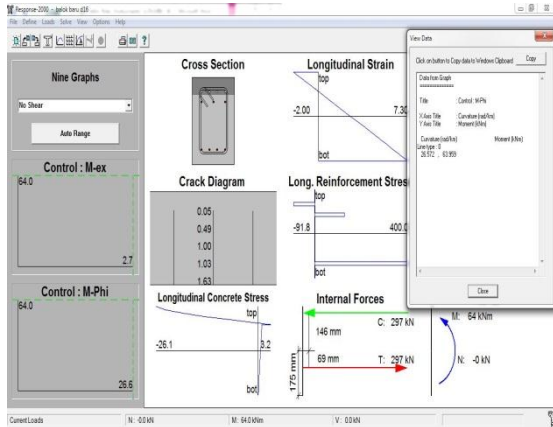
Tingkat ke i	W_i	H	C_{vx}	F_i
	kN	(m)	(persen)	kN
1	3099,239	3,2	16,93%	118,964
2	3099,239	6,4	27,34%	192,189
3	2536,419	9,6	40,70%	286,086
4	741,906	12,8	15,03%	105,617
Jumlah	706,119		100%	702,857

Tabel 2. Berat bangunan dan Gaya geser dasar kolom pipih

Tingkat ke i	W_i	H	C_{vx}	F_i
	kN	(m)	(persen)	kN
1	3099,239	3,2	16,93%	118,964
2	3099,239	6,4	27,34%	192,189
3	2536,419	9,6	40,70%	286,086
4	741,906	12,8	15,03%	105,617
Jumlah	706,119		100%	702,857

4.2. Hasil Analisis Penampang Balok dan Kolom Sebagai Input *Hinges Properties*

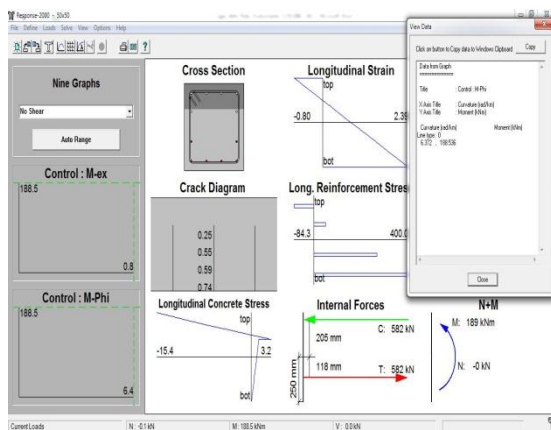
Hinges properties/sendi plastis elemen struktur diperoleh dari grafik *moment-curvature* (momen lengkung) yang menggambarkan kemampuan *deformasi* dari elemen struktur. *Moment-curvature* pada elemen struktur dimasukan secara manual pada program SAP2000 V14 berdasarkan ketentuan ATC 40. Kurva *Moment-Curvature* untuk setiap balok dan kolom dapat langsung di peroleh melalui program *Response-2000*, Nilai *Moment-Curvature* akan muncul dari sisi sebelah kiri menu *Solve-Sectional Response* pada program *Response-2000*. Hasil *output* program *Response-2000* untuk balok dan kolom dapat pada penelitian dengan kolom bujur sangkar dan pipih berikut:



Gambar 9 Output Solve-One Strain Pada Balok

Tabel 3 Data hasil *output* balok *hinges properties* pada program *Response-2000*

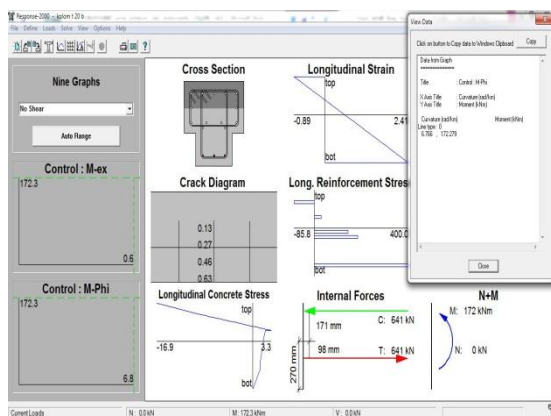
Poin	Momen (M) (Kn m)	Curvature (ϕ)	
		(rad/km)	(rad/m)
E-	-36,212	-117,84	-0,11784
D-	-72,424	-58,92	-0,05892
C-	-89,415	-21,231	-0,021231
B-	-89,033	-12,462	-0,012462
A	0	0	0
B+	56,222	10,845	0,010845
C+	63,959	26,573	0,026573
D+	72,424	58,92	0,05892
E+	36,212	117,84	0,11784



Gambar 10 Output Solve-One Strain Pada kolom bujur sangkar

Tabel 4 Data hasil *output* kolom bujur sangkar *hinges properties* pada program *Response-2000*

Poin	Momen (m) (kN.m)	Cuvature (θ)		M/My
		(rad/km)	(rad/m)	
A	0	0	0	0
B	188,536	6,375	0,006375	1
C	216,998	45,386	0,045386	1,150963
D	221,012	55,568	0,055568	1,172254
E	110,506	111,136	0,111136	0,586127



Gambar 11 Output Solve-One Strain Pada Kolom Pipih

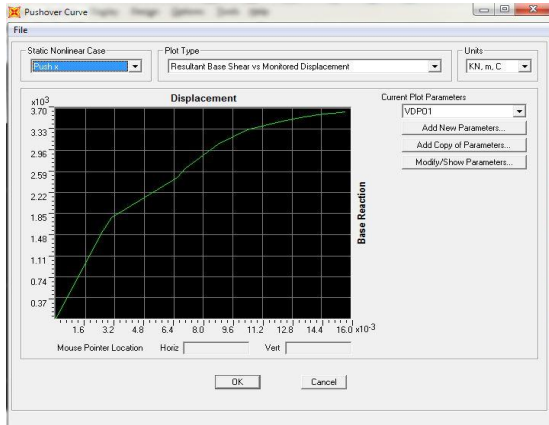
Tabel 5 Data hasil *output* kolom pipih *hinges properties* pada program *Response-2000*

Poin	Momen (M) (kN.m)	Curvature (ϕ)		M/My
		(rad/km)	(rad/km)	
A	0	0	0	0
B	88,752	14,908	0,014908	1
C	116,903	29,662	0,029662	1,317187
D	120,44	38,989	0,038989	1,35704
E	60,22	77,978	0,077978	0,67852

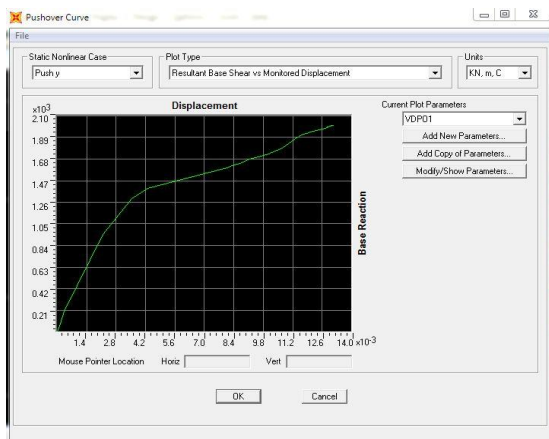
4.3. Kurva Kapasitas

Kurva adalah salah satu produk utama dari analisis pushover yaitu berupa kurva kapasitas (*Capacity curve*), atau disebut juga sebagai kurva *pushover*. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan pada titik kontrol serta menggambarkan response perilaku *nonlinier* dari stuktur gedung yang ditinjau. Kurva ini dapat

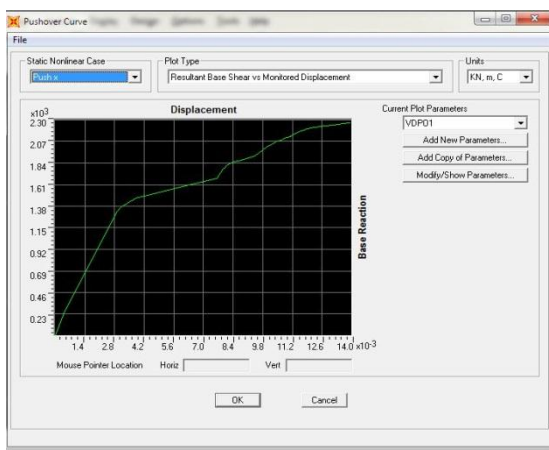
diperoleh dari pilihan menu *Display>Show Static Pushover Cuve*. Kurva *pushover* yang dihasilkan untuk model gedung tanpa dinding (MTD). Kurva *pushover* untuk arah-X dan arah Y dapat dilihat pada penelitian dengan kolom bujur sangkar dan pipih berikut:



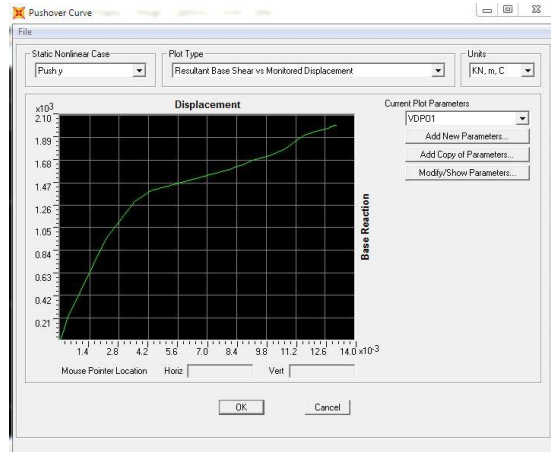
Gambar 12 Kurva kapasitas arah x kolom bujur sangkar



Gambar 13 Kurva kapasitas arah y kolom bujur sangkar



Gambar 14 Kurva kapasitas arah x kolom pipih



Gambar 15 Kurva kapasitas arah y kolom pipih

Tabel 6 Data *pushover curve* arah x kolom bujur sangkar

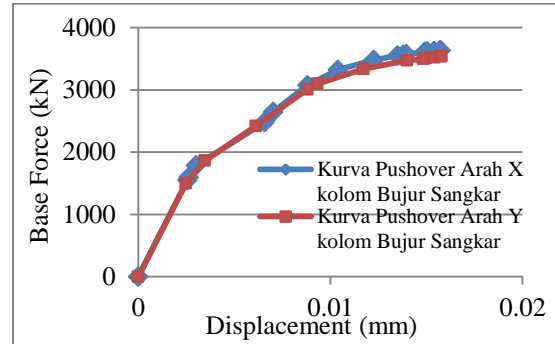
Step	Displacement (m)	Base Force (T)
0	0	0
1	0,00256	1553,449
2	0,002632	1597,393
3	0,003008	1785,805
4	0,006576	2480,044
5	0,00702	2646,307
6	0,008807	3073,784
7	0,010392	3321,954
8	0,012266	3480,292
9	0,013486	3550,752
10	0,01379	3562,418
11	0,013953	3572,062
12	0,014914	3607
13	0,015049	3616,782
14	0,015387	3623,813
15	0,01572	3634,827
16	0,01572	3634,841

Tabel 7 Data *pushover curve* arah y kolom bujur sangkar

Step	Displacement (m)	Base Force (T)
0	0	0
1	0,00247	1498,741
2	0,003464	1864,139
3	0,006128	2421,268
4	0,008808	3008,481
5	0,009327	3096,431

Lanjutan Tabel 7 Data *pushover curve* arah x kolom bujur sangkar

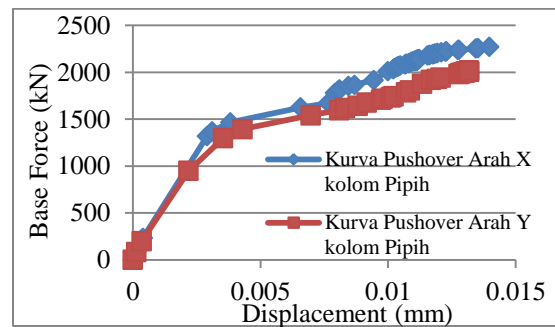
Step	Displacement (m)	Base Force (T)
6	0,011731	3337,465
7	0,013986	3473,406
8	0,014817	3497,689
9	0,014965	3507,273
10	0,015404	3521,525
11	0,015772	3541,929
12	0,015772	3541,93
13	0,015772	3541,936



Gambar 16 Perbandingan kurva kapasitas arah x dan y kolom pipih

Tabel 8 Data *pushover curve* arah x kolom pipih

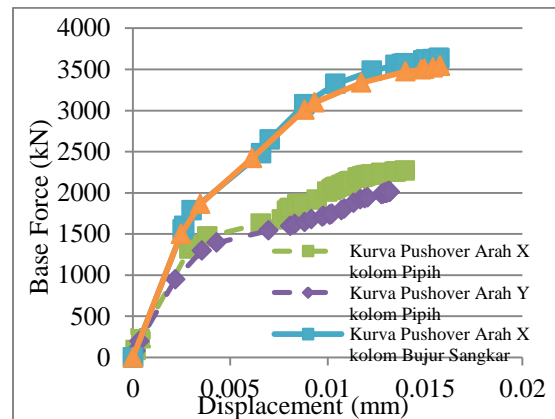
Step	Displacement (m)	Base Force (T)	Step	Displacement (m)	Base Force (T)
0	0	0	37	0,01111	2126,484
1	0,000145	87,974	38	0,011112	2126,823
2	0,000394	232,325	39	0,011115	2126,971
3	0,000905	1318,53	40	0,011118	2127,31
4	0,003101	1370,237	41	0,01112	2127,459
5	0,003815	1466,83	42	0,011123	2127,798
6	0,006567	1624,17	43	0,011126	2127,948
7	0,00765	1673,053	44	0,011128	2128,442
8	0,007914	1779,283	45	0,01113	2128,601
9	0,008016	1794,589	46	0,011132	2128,848
10	0,008045	1804,534	47	0,011133	2128,927
11	0,008099	1815,386	48	0,011134	2129,174
12	0,008446	1855,787	49	0,011135	2129,254
13	0,00868	1865,275	50	0,011136	2129,377
14	0,009434	1916,354	51	0,011136	2129,417
15	0,009983	2010,958	52	0,011137	2129,537
16	0,010197	2033,211	53	0,011169	2133,361
17	0,010244	2042,496	54	0,011169	2133,44
18	0,010302	2048,072	55	0,011192	2136,223
19	0,01036	2058,655	56	0,011216	2141,025
20	0,010374	2059,922	57	0,011546	2177,678
21	0,010423	2066,825	58	0,011601	2181,511
22	0,010478	2071,269	59	0,011624	2184,214
23	0,01067	2084,201	60	0,011743	2191,158
24	0,010699	2088,942	61	0,011766	2193,775
25	0,010797	2096,267	62	0,011801	2195,781
26	0,0109	2110,405	63	0,011825	2198,376
27	0,010982	2116,706	64	0,011912	2202,876
28	0,011029	2118,926	65	0,011935	2205,168
29	0,011054	2120,967	66	0,012077	2213,523
30	0,011065	2122,485	67	0,012242	2220,021
31	0,011074	2123,048	68	0,012284	2223,085
32	0,011085	2124,293	69	0,012736	2237,296
33	0,011089	2124,556	70	0,012771	2238,874
34	0,011095	2125,24	71	0,013433	2253,62
35	0,011099	2125,505	72	0,013518	2258,245
36	0,011105	2126,182	73	0,013961	2269,028



Gambar 17 Perbandingan kurva kapasitas arah x dan y kolom pipih

Tabel 9 Data *pushover curve* arah y kolom pipih

Step	Displacement (m)	Base Force (T)	Step	Displacement (m)	Base Force (T)
0	0	0	23	0,012839	1989,644
1	0,000134	81,565	24	0,012856	1990,179
2	0,000341	197,374	25	0,012915	1995,538
3	0,00218	948,436	26	0,012962	1998,118
4	0,003535	1296,33	27	0,013	2001,755
5	0,004298	1393,965	28	0,013001	2001,786
6	0,006964	1541,159	29	0,013002	2001,938
7	0,008076	1595,046	30	0,013018	2002,699
8	0,008308	1618,679	31	0,013037	2004,492
9	0,008808	1641,545	32	0,013047	2004,945
10	0,009165	1677,889	33	0,013069	2005,496
11	0,009722	1709,004	34	0,013083	2006,575
12	0,009792	1718,256	35	0,013105	2007,324
13	0,010104	1730,692	36	0,013118	2008,029
14	0,010145	1737,085	37	0,013131	2009,264
15	0,010213	1745,716	38	0,013155	2010,704
16	0,0107	1785,25	39	0,013155	2010,705
17	0,010856	1805,343	40	0,013156	2010,719
18	0,011327	1877,981	41	0,013156	2010,719
19	0,01168	1919,018	42	0,013156	2010,723
20	0,011912	1930,468	43	0,013156	2010,723
21	0,012058	1943,038	44	0,013156	2010,724
22	0,012754	1981,94	45	0,013156	2010,724



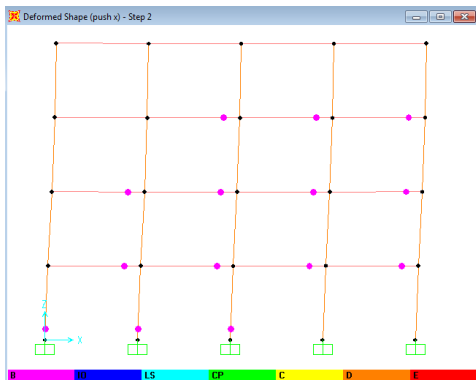
Gambar 18 Perbandingan kurva kapasitas arah x dan y pada kolom bujur sangkar dan kolom pipih

Berdasarkan Gambar 18 terlihat bahwa kemiringan kurva kapasitas kolom pipih lebih condong ke bawah membentuk sudut kemiringan yang lebih kecil dibandingkan kurva kapasitas dengan kolom bujur sangkar. Menurut FEMA 356 (2000) kemiringan kurva dapat memberikan gambaran terhadap kekakuan bangunan. Kurva kapasitas yang memiliki kemiringan cenderung tegak menunjukkan bahwa bangunan memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan kurva kapasitas condong kebawah.

4.4. Mekanisme Sendi Plastis

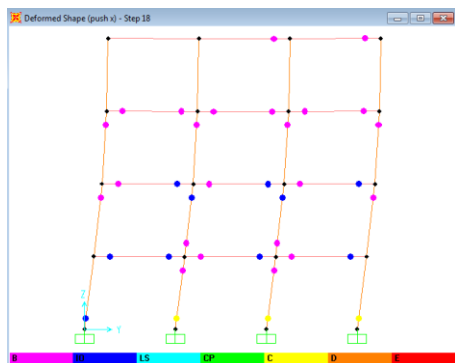
Elemen struktur yang dibebani beban statik tersebut secara bertahap akan mengalami pelelehan (sendi plastis) hingga dapat menyebabkan ketidakmampuan elemen menerima gaya dalam tersebut sehingga struktur dapat mengalami keruntuhan. Perilaku struktur saat beban yang bekerja relatif kecil maka momen yang bekerja disetiap penampangnya masih dalam keadaan elastis, namun setelah beban ditingkatkan secara bertahap akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang mencapai keadaan plastis. Mekanisme sendi plastis dapat dilihat sebagai berikut :

1. Kolom bujur sangkar
 - a. Pada step 1 sendi plastis terjadi diportal 3 arah x pada balok 19, dan berlanjut pada step 2 sampai step 16 pada lokasi balok dan koom lainnya



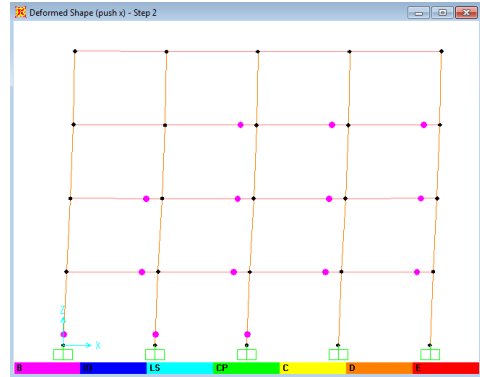
Gambar 19 Posisi sendi plastis pada portal 3 step 2 kolom bujur sangkar

- b. Pada step 1 sendi plastis pada kolom bujur arah y sangkar dimulai pada balok 9 lantai 1 portal e arah y dan berlanjut pada step 2 sampai step 13 pada lokasi balok dan koom lainnya



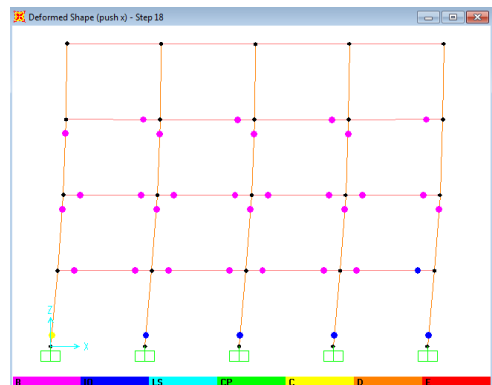
Gambar 20 Posisi sendi plastis pada portal b step 16 kolom bujur sangkar

2. Kolom pipih
 - a. Pada step 1 diportal 3 terjadi sendi plastis yang sama di balok 25 dan berlanjut pada step 2 sampai step 73 pada lokasi balok dan koom lainnya .



Gambar 21 Posisi sendi plastis pada portal 3 step 2 kolom pipih

- b. Pada step 1 sendi plastis pada kolom pipih arah y dimulai pada balok lantai 1 sampai 3 pada b arah y dan berlanjut pada step 2 sampai step 45 pada lokasi balok dan koom lainnya .



Gambar 22 Posisi sendi plastis pada portal e step 2 kolom pipih

5. KESIMPULAN

Maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Pada hasil analisis *pushover* didapat bentuk kurva terhadap kurva kapasitas kolom bujur sangkar memiliki derajat kemiringan kurva lebih kecil dibandingkan struktur dengan kolom pipih. Nilai kekakuan awal (k_i) yang dihasilkan pada kurva *pushover* untuk kolom bujur sangkar sebesar 60767,75 kN/m (arah x), 59475,046 kN/m (arah y) dan nilai kekakuan pada kolom pipih sebesar

- 45396,88 kN/m (arah x), 43517,93 kN/m (arah y).
2. Hasil analisis pushover dengan metode spektrum kapasitas (ATC-40, 1996) didapat perbandingan kurva kapasitas struktur dengan kolom pipih dan kolom bujur sangkar, dengan nilai gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisis statik struktur dengan kolom bujur sangkar yaitu 1244,66 kN lebih besar dibanding kolom pipih sebesar 1179,25 kN. Selain itu, berdasarkan kurva kapasitas dapat diketahui nilai gaya geser pada leleh pertama untuk kolom bujur sangkar sebesar $V_x = 1078,805$, $V_y = 1071,549$ dan untuk kolom raming sebesar $V_x = 1000,533$, $V_x = 1019,486$.
 2. Mekanisme pada sendi plastis.
 - a. Kolom Bujur Sankar

Pada step 1 sendi plastis terjadi pada balok 19 (arah x), balok 9 (arah y) dan berlanjut pada step 2 pada kolom dan balok lainnya sampai step selanjutnya hingga gaya geser maksimum .
 - b. Kolom Pipih

Pada step 1 sendi plastis terjadi pada balok 25 (arah x), balok lantai 1 -3 (arah y) dan berlanjut pada step 2 kolom dan balok lainnya sampai step selanjutnya hingga gaya geser maksimum .
- Naional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7), Surakarta.
- [7] Hizkia, Y. M., (2014). *Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story*. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
 - [8] Limbongan S. (2016). *Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih Pada Gedung Bertingkat*. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
 - [9] Rathod P, dan Dyavanal. (2014). *Pushover Analysis of Ten Storeyed RC Buildings With Openings in infill walls. Internasional Journal of Advanced Scientific and Technical Research*.
 - [10] Vicky, R., (2014). *Evaluasi Kinerja Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Akibat Beban Gempa Padang*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afandi, N. R., (2010). *Evaluasi Kinerja Sismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [2] ATC 40 (1997), *Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA.
- [3] Budi, P. A., (2010). *Evaluasi Kinerja Sismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Prosedur A Menggunakan Program ETABS V 9.50*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [4] Dewi, A. N. K, dan Ulfa, A. J (2016) *Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Rusunawa Jongke Dengan Analisis Pushover Menggunakan SAP 2000*, Proseding Kolokium IX. Prodi Teknik Sipil FTSP -UII, Yogyakarta.
- [5] FEMA 356, 2000, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [6] Frans, R., Thioriks, F., Tanijaya, J., dan Kalang, T. H., (2013). *Analisis Diagram Interaksi Kolom Pada Perencanaan Kolom Pipih Beton Bertulang (042s)*. Konferensi