

**TINJAUAN KAPASITAS STRUKTUR BAJA
BANGUNAN PENJEMURAN KARET PT. MARDEC MUSI LESTARI
AKIBAT BEBAN RUBBER SHEET**

S a p t a

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA, Palembang

Email : sapta@iba.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini, struktur baja yang ditinjau adalah bangunan penjemuran karet pada PT. Mardec Musi Lestari dengan kapasitas penjemuran 800ton lembaran karet kondisi basah, dimana bangunan ini dibangun pada akhir tahun 2006 dan selesai pada awal tahun 2007, namun setelah beroperasi lebih kurang 3,5 tahun bangunan tersebut runtuh. Pada saat terjadi keruntuhan dari informasi yang didapat kondisi penjemuran karet dalam kondisi penuh (*fully loaded*) sehingga dimungkinkan bangunan tersebut kelebihan beban (*overloaded*), kemudian dari informasi yang didapat dari pihak pabrik pada saat terjadi keruntuhan kondisi cuaca mendung dan angin kencang, sehingga dimungkinkan keruntuhan disebabkan oleh angin, dan dari beberapa pendapat penyebab keruntuhan disebabkan oleh korosi dan lain sebagainya. Terlepas dari semua kemungkinan yang menyebabkan keruntuhan, pada penelitian ini penulis mencoba untuk menganalisa berapa besar kapasitas beban akibat *rubber sheet* yang mengakibatkan struktur mengalami keruntuhan (*non-linier condition*), dengan menggunakan metode *Pushover* Analisis yang ada pada program analisa struktur SAP2000. Dari hasil penelitian didapatkan kapasitas struktur bangunan penjemuran karet pada kondisi elastis sebesar 1476 ton, 1,845 kali dari kapasitas rencana dan kapasitas struktur bangunan diambang keruntuhan sebesar 2532 ton.

Kata kunci : Kapasitas, keruntuhan, *Pushover*.

1. PENDAHULUAN

Bangunan penjemuran karet adalah bangunan bertingkat, yang digunakan pada pabrik Karet (*Crumb Rubber Factory*), dimana bangunan ini digunakan untuk penjemuran/pengeringan lembaran karet dalam bentuk selendang atau handuk (*rubber sheet*) yang digantung pada masing-masing lantai dengan menggunakan penggantung kayu dalam jumlah tertentu.

Pada penelitian ini struktur bangunan penjemuran karet pada PT. Mardec Musi Lestari terbuat dari struktur Baja Profile *Wide Flange* (WF) dengan kapasitas penjemuran 800 ton lembaran karet kondisi basah. Bangunan ini dibangun pada akhir tahun 2006 dan selesai pada awal tahun 2007, namun setelah beroperasi lebih kurang 3,5 tahun bangunan tersebut runtuh. Pada saat terjadi keruntuhan dari informasi yang didapat kondisi penjemuran karet dalam kondisi penuh (*fully loaded*) sehingga dimungkinkan bangunan tersebut kelebihan beban (*overloaded*), kemudian dari informasi yang didapat dari pihak pabrik pada saat terjadi keruntuhan kondisi cuaca mendung dan angin kencang, sehingga dimungkinkan keruntuhan disebabkan oleh angin, dan dari beberapa pendapat penyebab keruntuhan disebabkan oleh korosi dan lain sebagainya.

1.1. Rumusan Masalah

Terlepas dari semua kemungkinan yang terjadi yang mengakibatkan keruntuhan pada struktur bangunan, timbul pertanyaan apakah kapasitas beban *rubber sheet* yang direncanakan sebesar 800 ton mampu ditampung oleh struktur baja bangunan tersebut pada kondisi normal dan berapa besar beban yang terjadi pada saat struktur berada diambang keruntuhan.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas daripada struktur bangunan penjemuran karet dalam menahan beban *Rubber Sheet* pada kondisi linier (*linier conditions*) dengan pembebanan kondisi penuh (*fully loaded*) dan pada kondisi diambang keruntuhan (*non-linier conditions*) dengan melakukan analisa struktur pada kondisi *linier* dan *non-linier* dengan membebani struktur dengan beratnya sendiri dan lembaran karet (*rubber sheet*).

1.3. Batasan Masalah

Ruang lingkup studi yang dilakukan yaitu :

1. Pemodelan struktur baja tiga dimensi dengan menggunakan program analisa struktur SAP2000
2. Analisa kondisi *Linier* mengacu pada SNI 03-1729-2002, dengan pembebanan yang ditinjau hanya akibat berat sendiri struktur bangunan dan beban *rubber sheet*.
3. Analisa *static non-linier* dengan metode *pushover analysis*, dengan menggunakan beban *rubber sheet* sebagai beban dorong.
4. Membuat kurva respon struktur akibat beban *rubber sheet*, berupa kurva kapasitas.

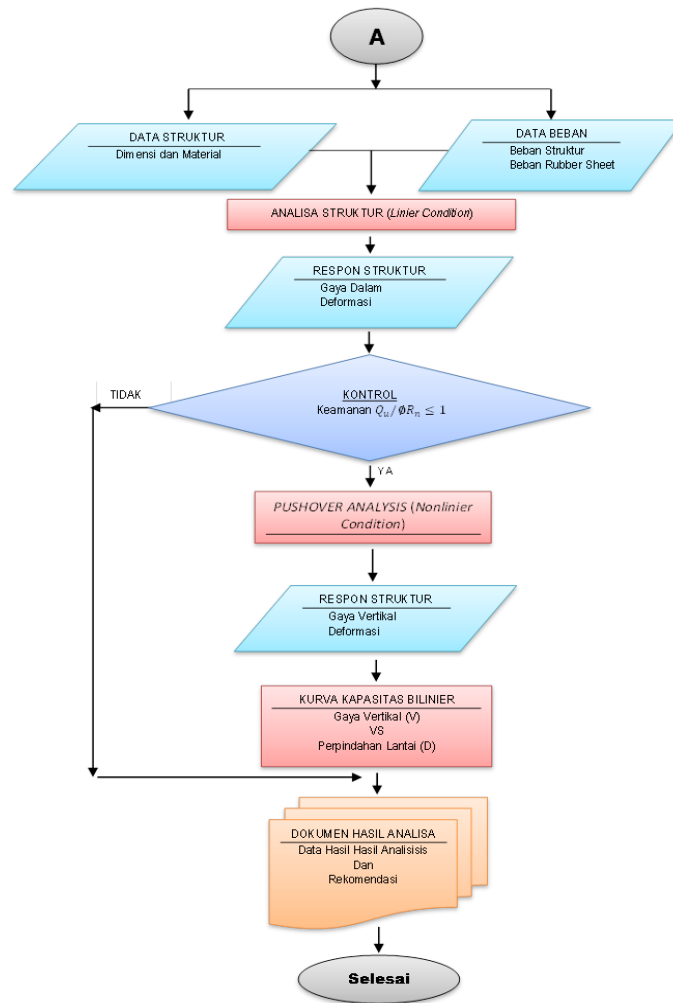
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada struktur baja bangunan penjemuran karet PT. Mardec Musi Lestari yang merupakan pabrik karet (*Crumb Rubber Factory*) yang berlokasi di Jalan Tanjung Api-api Km.10 Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dari diagram alir seperti pada gambar 1. Dimana data awal yang diperlukan adalah data struktur seperti dimensi dan material kemudian data beban seperti beban struktur dan beban lembaran karet (*rubber sheet*), lalu dilakukan proses analisa linier untuk mendapatkan data respon struktur berupa gaya dalam dan deformasi, kemudian kontrol stabilitas/keamanan struktur, jika ya lanjutkan dengan *Pushover analysis* untuk mendapatkan data respon struktur *non-linier* jika tidak stop analisa.

Struktur bangunan bangunan penjemur lembaran karet yang ditinjau pada penelitian ini terbuat dari struktur baja *profile WF*, dengan lebar 24m dan panjang 40m, jarak antar kolom 4m arah bentang pendek maupun arah bentang panjang, dengan tinggi tingkat pertama 5m (pedestal 1m) dan lantai 2, 3 dan 4 tingginya 4m (gambar 2.). Kapasitas rencana bangunan direncanakan dapat menjemur 800 ton lembaran karet dalam kondisi basah. Struktur pada penelitian ini dimodelkan sebagai struktur rangka pemikul momen (SRPM) dengan perletakannya diasumsikan sebagai jepit pada *base plate*.

Lembaran karet yang berbentuk selendang/handuk setelah melalui proses penimbangan kemudian di jemurkan pada bangunan penjemuran karet dengan cara menggantungkan lembaran karet tersebut pada penggantung kayu/sento berukuran 5cm x 7cm (terlihat pada gambar 3) dengan jarak antar sento 10cm *centre to centre* sehingga jarak bersih antar sento adalah 5cm. Tebal dari lembaran karet variatif berkisar antara 2-2,5cm sehingga penjemuran hanya dapat dilakukan berkelang satu sento (lihat pada gbr. 11). Lama penjemuran lembaran karet untuk mencapai tingkat kelembaban tertentu berkisar antara 10 hari sampai dengan 12 hari, kemudian lembaran karet tersebut diturunkan untuk diproses lebih lanjut. Kemudian tempat penjemuran yang telah kosong diisi kembali dengan lembaran karet basah, demikian seterusnya. Secara garis besar metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penataan ruang bangunan penjemuran karet terbagi dalam beberapa ruangan yaitu ruang jemur karet, jalan *lorry* untuk distribusi lembaran karet dan ruang *elevator* untuk mengangkut lembaran karet kemasing-masing lantai. Jumlah kamar ditentukan berdasarkan lebar bentang antar kolom arah melintang dan memanjang, dimana jarak antar kolom 4m sehingga satu kamar ukurannya 4m x 4m. Jumlah kayu penggantung untuk satu kamar 38 batang, sehingga lembaran yang dapat dijemur dalam satu kamar berjumlah 114 lembar karet.



Gambar 2. Photo Bangunan Penjemuran Karet



Gambar 3. Photo Konfigurasi Kayu Penjemuran Karet

Setelah digunakan selama kurang lebih 3,5 tahun bangunan tersebut runtuh seperti ditunjukkan pada gambar 4, tepatnya kejadian tersebut terjadi pada hari Jumat tanggal 21 Mei 2010 sekitar jam 22.00 wib.



Gambar 4. Photo Kondisi Runtuhnya Bangunan Penjemuran Karet

Dari informasi yang di terima kondisi cuaca pada saat itu mendung disertai hujan dan angin yang kencang serta muatan bangunan perjemuran terisi penuh oleh lembaran karet gambar 5.



Gambar 5. Photo Tumpukan Lembaran Karet Pasca Keruntuhan

Terlihat dari kondisi keruntuhan pada gambar 6. runtuhnya struktur bangunan mengindikasikan terjadinya kegagalan pada kolom sehingga konfigurasi keruntuhan seperti tudung saji dimana bubungan atap hampir menyentuh permukaan tanah.



Gambar 6. Photo *Failure* pada Tumpuan Kolom

Kegagalan pada balok terjadi pada daerah tumpuan dimana seolah-olah mekanisme keruntuhan, *beam sway* terpenuhi, terlihat dari gambar 7.



Gambar 7. Photo *Failure* pada Tumpuan Balok

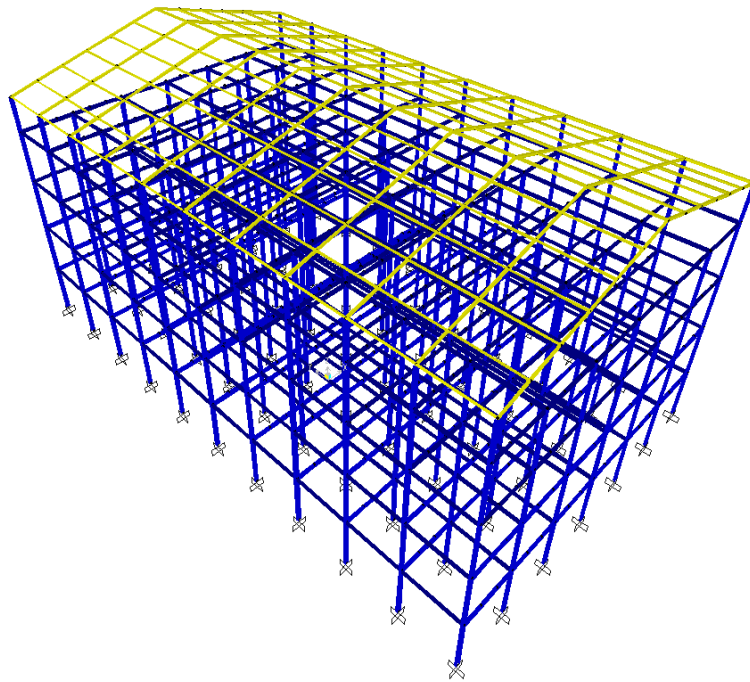
2.1. Data Struktur

Sifat-sifat mekanis sebagai berikut:

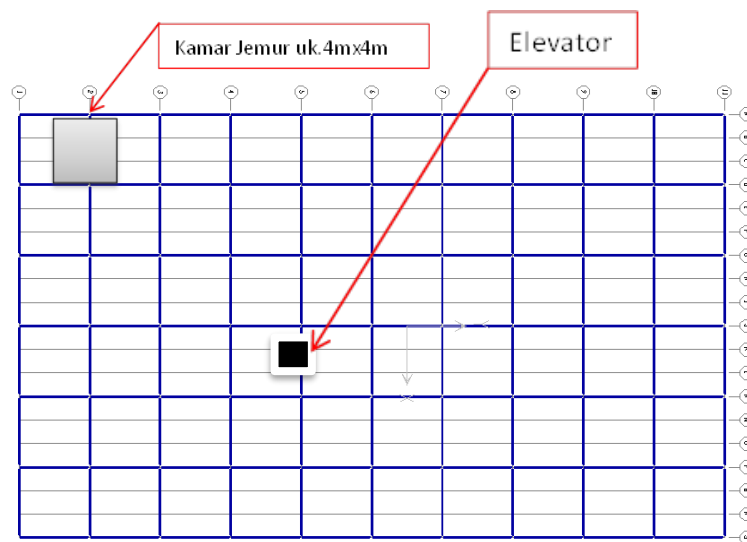
- Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ Mpa}$
- Modulus geser : $G = 76.923 \text{ Mpa}$
- Nisbah poisson : $\mu = 0,3$
- Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Konfigurasi komponen-komponen struktur tersusun sebagai berikut :

- Balok portal melintang (arah bentang pendek) digunakan WF250.125.6.9 pada lantai 1 dan 2 dengan bentang 4m.
- Balok portal melintang (bentang pendek) digunakan WF200.100.5,5.8 pada lantai 3 dan 4 dengan bentang 4m.
- Balok portal memanjang (bentang panjang) digunakan WF200.100.5,5.8 pada lantai 3 dan 4 dengan bentang 4m.
- Kolom sudut, tepi dan tengah digunakan WF250.125.6.9 dengan tinggi kolom antar tingkat 4m.



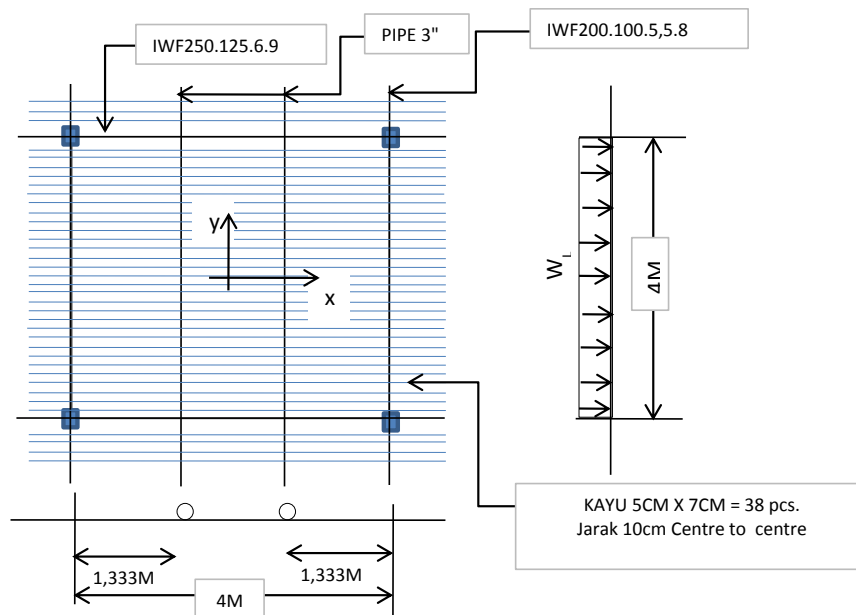
Gambar 8. Perspektif Struktur Dengan SAP2000



Gambar 9. Konfigurasi Ruang Bangunan Penjemuran Karet

2.2. Data Beban

Struktur direncanakan untuk menahan beban tetap akibat berat dari komponen-komponen dan beban sementara akibat lembaran karet.



Gambar 10. Konfigurasi Penggantung Karet

a. Beban Tetap

Beban tetap berupa beban akibat komponen-komponen struktur yaitu balok, kolom, pipa 3'', kayu penggantung (sento 5/7) dan balok kayu 6,5/13,5 sebagai dudukan sento 5/7.

- Frame arah bentang pendek
 - a. Berat sendiri balok IWF250.125.6.9 = 29,6 kg/m'
 - b. Berat pipa 3'' = 12kg/m'
- Frame arah bentang memanjang
 - a. Berat sendiri balok IWF200.100.5,5.8 = 21,30 kg/m'
 - b. Berat kayu 6,5/13,5 = 8,80 kg/m'
 - c. Berat kayu 5/7 = 46,67 kg/m'

Rekap beban :

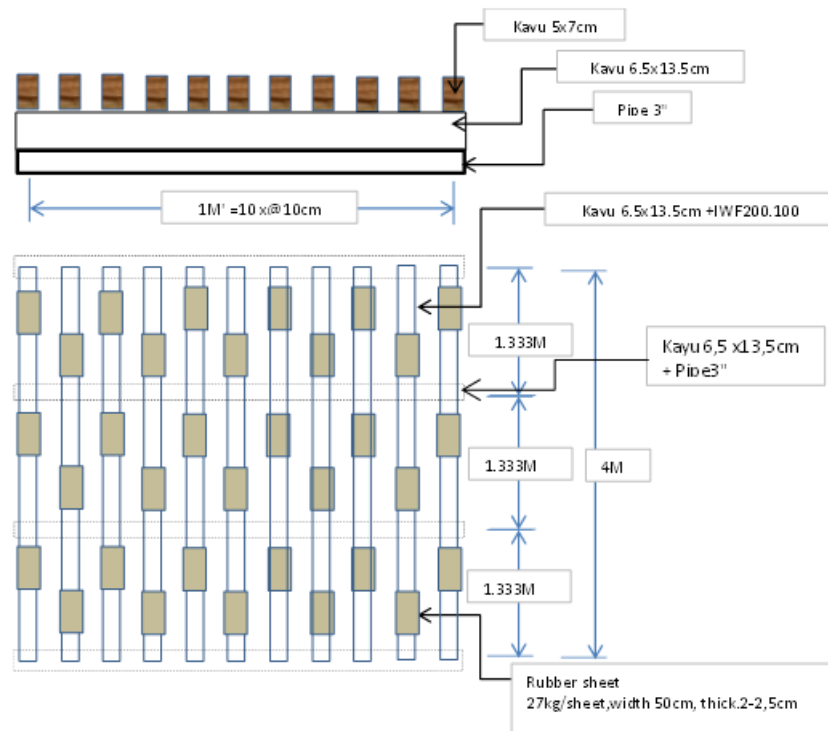
Untuk berat baja profile IWF dan Pipa 3'' diinput pada program sehingga secara otomatis beratnya dihitung oleh program. Untuk berat beban kayu diperhitungkan sebagai berikut,

- Berat kayu 6,5/13,5 = 8,80 kg.m'
- Berat Kayu 5/7 = 46,67 kg/m' +
- DL = 55,40 kg/m' (ut. Balok interior)
- 1/2DL = 27,70 kg/m' (ut. Balok eksterior)

b. Beban Lembaran Karet

Perhitungan Beban Rubber Sheet berdasarkan rencana penjemuran:

- Dalam satu batang kayu 5/7 ada 3 rubber sheet
Berat per sheet = 27 kg (ada 10 sheet per meter kiri dan kanan kondisi basah)
- Lebar per sheet = 50 cm
- Tebal sheet = 2 - 2,5 cm
- Lebar Gap = 5 cm (tidak dapat menjemur 2 sheet berhimpitan)



Gambar 11. Konfigurasi Beban Lembaran Karet

Dari gambar 8 diatas satu kayu 5x7 cm terdapat :

- 3 sheets Rubber @27kg (kondisi basah) = 81 kg
- Dalam satu kamar terdapat 38 pcs. (Kayu 5/7) x 81 kg = 3,078 Ton
- Dalam satu lantai terdapat 60 kamar - 1kamar ut. Lift = 59 kamar
- Total berat rubber sheet 4 lantai = 726,408ton (kondisi Basah) < 800 Ton

Dalam satu kamar ada 38 pcs. Kayu x 3 sheet x 27kg/(4mx4m) = 192 kg/m²

L = 192 kg/m² x 1,33 m = 256 kg/m' (Beams Interior)

1/2.L = 128 kg/m' (Beams Exterior)

c. Kombinasi Beban

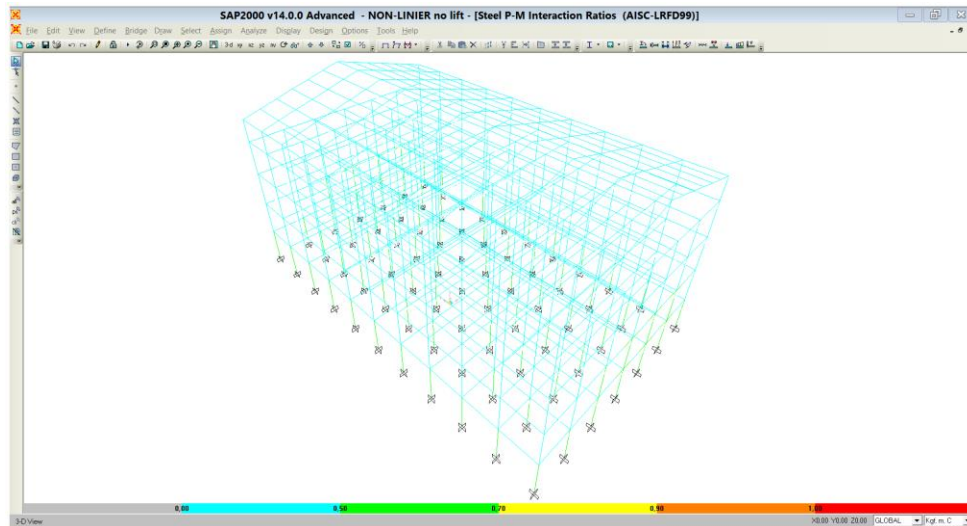
Kombinasi pembebanan sebagai berikut :

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,0 L (Rubber Sheet)
3. 1,2D + 1,6 L (Rubber Sheet)

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

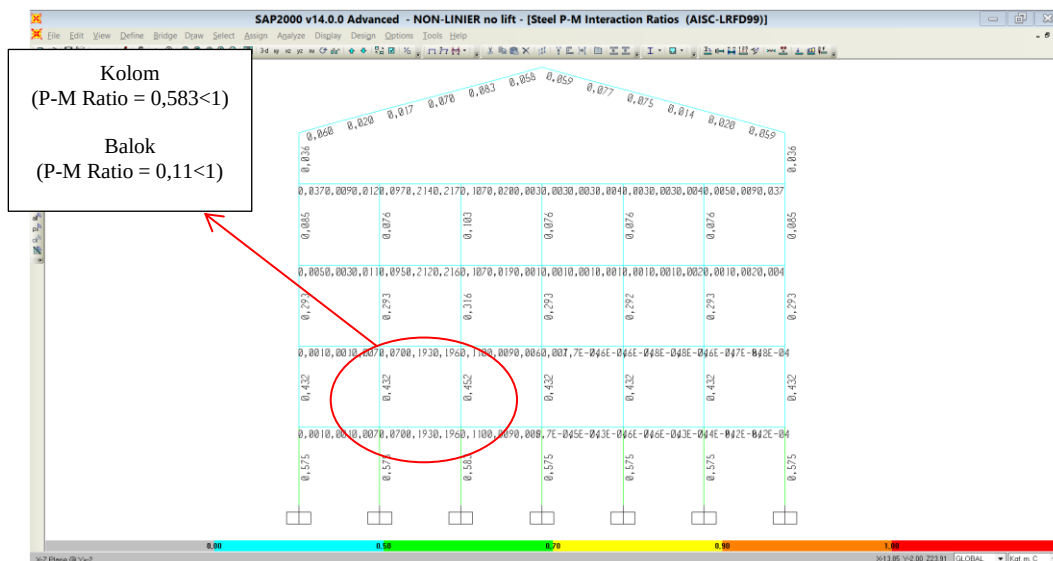
Setelah data struktur dan data beban yang diperlukan untuk analisa struktur telah diinput kedalam program analisa struktur SAP2000, kemudian dapat dilakukan analisa struktur kondisi *linier* dan *non-linier*.

3.1. Analisa Kondisi *Linier*

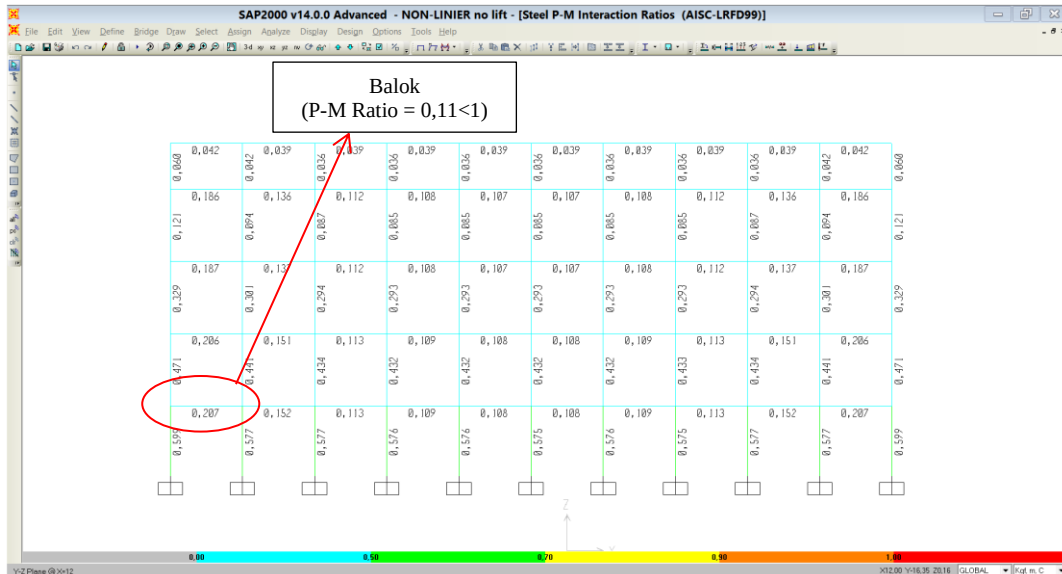


Gambar 12. Perspektif Hasil Analisa Struktur

Seperti yang terlihat pada gambar 13 dan 14, rasio tegangan yang terjadi pada komponen struktur (balok dan kolom) yaitu P-M rasio < 1 .



Gambar 13. P-M Rasio Portal Melintang



Gambar 14. P-M Rasio Portal Memanjang

Dari hasil analisa struktur dalam kondisi *linier* dapat dikatakan struktur memenuhi persyaratan untuk dikatakan aman dimana, rasio $Q_u/\phi R_n \leq 1$. Terlihat dari hasil analisa struktur pada gambar 13 dan 14 diatas dapat dinyatakan struktur memenuhi persyaratan keamanan/stabilitas, maka kita lanjutan ke analisa *non-linier*.

3.2. Analisa Kondisi Non-Linier (Pushover Analysis)

Analisa *pushover* merupakan simulasi pembebanan yang melampaui beban rencana yang ditingkatkan terus sampai struktur dalam kondisi runtuh, dalam tahapan ini struktur sebelum melakukan analisa *pushover* terlebih dahulu dilakukan pengkriteriaan beban dalam beberapa kasus, untuk mendekati kondisi sebenarnya struktur terlebih dahulu terbebani oleh beratnya sendiri yang kemudian dilanjutkan dengan pembebanan *rubber sheet*, yang ditingkatkan terus bebannya sampai struktur mengalami *failure*, metode ini dinamakan *pushover analysis*.

Berdasarkan data beban dan uraian diatas sebelum melakukan *pushover analysis* perlu didefinisikan dahulu kriteria pembebanan (*load case*) sebagai berikut :

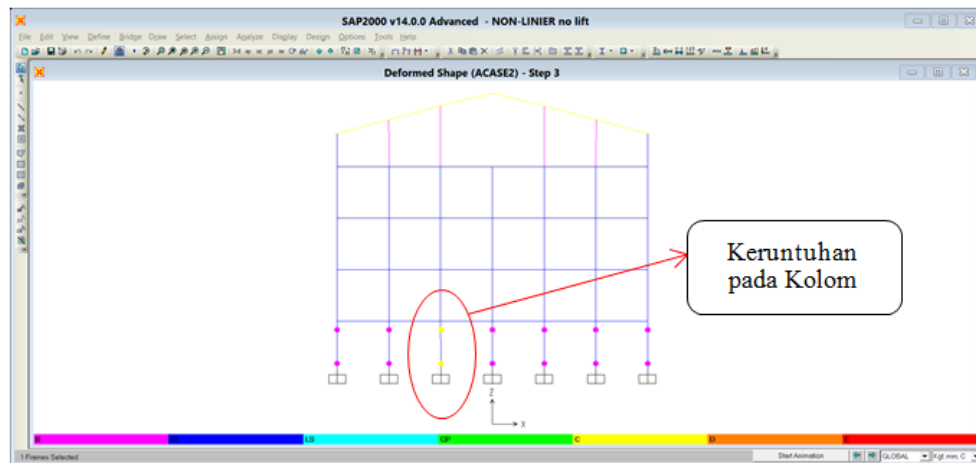
- 1) CASE 1 : Struktur dibebani dengan beban tetap =1,2 DL
- 2) CASE 2 : Setelah Case 1 struktur dibebani dengan Rubber sheet sampai struktur mengalami keruntuhan.

Pada pembebanan *case 1*, beban tetap yang bekerja merupakan kombinasi berat sendiri struktur dan berat kayu 5/7 dan balok kayu 6,5/13,5 yang dikalikan dengan faktor beban.

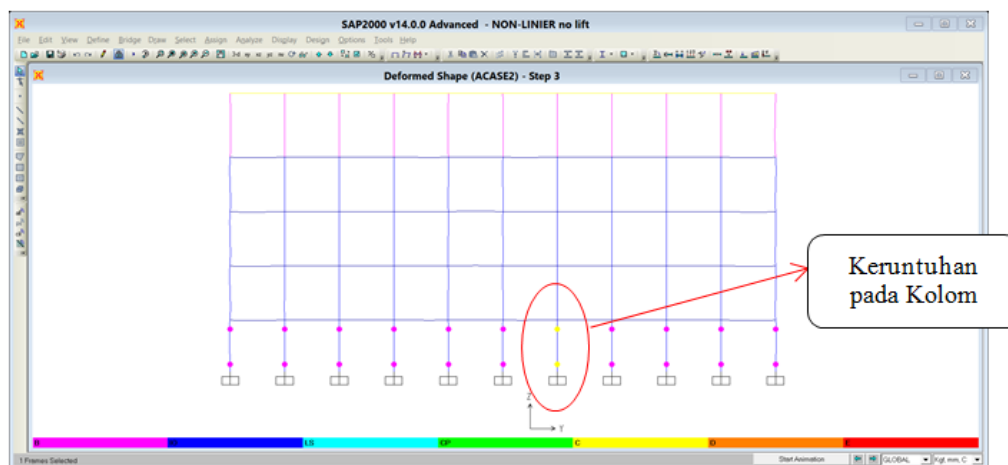
Pada pembebanan *case 2*, beban sementara yang bekerja merupakan berat *rubber sheet* tanpa dikalikan dengan faktor beban.

3.3. Hasil Analisa Non-linier

Hasil analisa *pushover* menunjukan keruntuhan terjadi pada step 3 dan 4, dimana terindikasi dari terbentuknya sendi plastis pada ujung kolom lantai 1 yang melampaui level kinerja *collapse prevention*, ini dapat dilihat pada gambar 15 dan gambar 16.

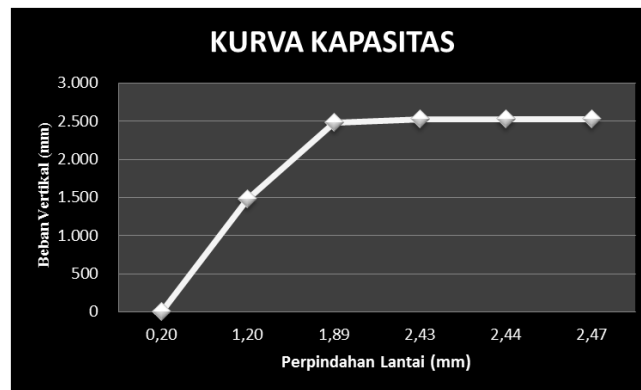


Gambar 15. Terbentuknya Sendi Plastis Pada Kolom Lantai 1 Portal Arah Sumbu x



Gambar 16. Terbentuknya Sendi Plastis Pada Kolom Lantai 1 Portal Arah Sumbu y

Perilaku keruntuhan dari pada bangunan akibat beban *Rubber Sheet* dapat dilihat pada kurva kapasitas/*pushover* pada gambar 17 dimana pada step ke-0 perpindahan terjadi sebesar 0,2mm dengan beban 0(nol), ini mengindikasikan bahwa struktur sebelum dibebani *rubber sheet* telah berdeformasi akibat berat sendiri struktur (beban tetap terfaktor), kemudian struktur dibebani dengan *rubber sheet* secara bertahap (*pushover*), dimana dapat kita lihat pada step ke-1 besar beban yang bekerja yaitu sebesar 1.476ton mengakibatkan perpindahan *joint* sebesar 1,2mm struktur masih menunjukkan kondisi batas elastis (*operational*) ini terlihat pada kurva kapasitas garis yang terbentuk masih linier, kemudian pada step ke-2 beban *rubber sheet* ditingkatkan menjadi 2.484ton mengakibatkan perpindahan *joint* menjadi sebesar 1,89 mm dimana terlihat pada kurva kapasitas terjadi perubahan arah garis, namun garis masih berbentuk linier ini menandakan bahwa struktur mengalami perubahan kekakuan namun masih berperilaku elastis (*intermediate occupancy*) yang artinya terjadi kerusakan kecil pada struktur. Pada step ke-3 beban ditingkatkan menjadi 2.532ton, perpindahan *joint* menjadi sebesar 2,43mm, namun terlihat dari kurva kapasitas garis yang terbentuk tidak linier (*non-linier*) mendekati horizontal dan perpindahan *joint* terus bertambah tanpa ada pertambahan beban sampai mencapai 2,533mm sehingga garis yang terbentuk menjadi garis horizontal, ini menunjukkan bahwa struktur mengalami keruntuhan (*collapse*) pada step ke-3



Gambar 17. Kurva Kapasitas

Tabel 1. Data sendi plastis dari output SAP2000

Step	Displacement mm	BaseForce Kgf	AtoB	BtoO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	-0.202781	0.00	2804	0	0	0	0	0	0	0	2804
1	-1.202781	1475938.53	2804	0	0	0	0	0	0	0	2804
2	-1.885764	2483980.17	2650	154	0	0	0	0	0	0	2804
3	-2.429403	2531811.72	2650	152	0	0	0	2	0	0	2804
4	-2.442615	2531996.74	2650	152	0	0	0	2	0	0	2804
5	-2.466436	2533139.61	2650	142	0	0	0	12	0	0	2804

Perilaku keruntuhan juga dapat dilihat pada tabel 1 dan 2 yang menunjukkan jumlah sendi plastis yang terjadi pada komponen struktur yaitu terjadi pada ujung-ujung kolom lantai dasar. Terlihat dari tabel tersebut sendi plastis yang terjadi termasuk pada level kinerja *collapse* (CP to D) pada saat beban *rubber sheet* mencapai sebesar 2.531.811,72 kg (2,532ton) pada step 3(tiga). Pada step 1(satu) struktur termasuk dalam level kinerja *operational* (AtoB) yang artinya struktur masih dalam batas elastis, walaupun sendi plastis telah terbentuk.

Tabel 2. Rekap data distribusi sendi plastis dari output SAP2000

Step	Lendutan Lantai (mm)	Beban Vertikal (ton)	Operational (AtoB)	Immediate occupancy (BtoO)	Life Safety (IOtoLS)	Collapse Prevention (LStoCP)	Collapse (CPtoC)	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	0,20	0	2804	0	0	0	0	0	0	0	2804
1	1,20	1.476	2804	0	0	0	0	0	0	0	2804
2	1,89	2.484	2650	154	0	0	0	0	0	0	2804
3	2,43	2.532	2650	152	0	0	0	2	0	0	2804
4	2,44	2.532	2650	152	0	0	0	2	0	0	2804
5	2,47	2.533	2650	142	0	0	0	12	0	0	2804

3.4. Pembahasan

Berdasarkan dari hasil analisa kondisi linier struktur memenuhi persyaratan perencanaan LRFD untuk pembebanan tetap dan sementara akibat *rubber sheet* dengan menggunakan faktor pembebanan (1,2D+1,6L), dan faktor reduksi tahanan, ϕ , hal ini dapat terlihat dari $P-M$ ratio < 1 untuk elemen balok maupun kolom.

Hasil analisa *non-linier* dengan menggunakan metode *pushover analysis*, dapat dilihat pada tabel 1. pada step 2(dua) lendutan (perpindahan) pada hubungan balok dan kolom (*joint*) adalah 1,89 mm dengan besar beban vertikal akibat *rubber sheet* sebesar 2.484ton, kondisi struktur

masih dalam batas elastis dimana faktor beban pada kondisi ini dapat kita tentukan sebagai berikut :

$$\frac{Q_e}{Q} = \frac{1.476 \text{ ton}}{800 \text{ ton}} = 1,845 > 1,6$$

Dimana,

Q_e = beban hasil analisa *pushover* dimana struktur masih dalam batas elastis

Q = beban total rencana *rubber sheet* bangunan penjemuran karet.

Struktur bangunan penjemuran karet dalam penelitian ini, dengan menggunakan metode pendekatan analitis *pushover analysis* yang ada pada program SAP2000, didapatkan beban vertikal (tidak termasuk berat sendiri) yang dapat ditampung oleh struktur bangunan sampai bangunan mengalami keruntuhan adalah 2.532ton dengan lendutan pada pada hubungan balok dan kolom (*joint*) yang terjadi sebesar 2,43mm (lihat tabel 1) dengan faktor beban 3,165 kali beban total rencana *rubber sheet*.

Kurva kapasitas yang dihasilkan dari hasil analisa pada gambar 17 terlihat struktur cukup daktail dengan faktor kuat lebih, Ω , dalam menahan beban vertikal sebesar 2,05.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang dilakukan terhadap struktur bangunan penjemuran PT. Mardec Musi Lestari dengan metode pendekatan analisa *pushover* dengan menggunakan program bantu analisa struktur SAP2000, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa pada kondisi linier didapatkan kapasitas struktur bangunan penjemuran karet sebesar 1.476 ton, 1,845 kali dari kapasitas rencana sebesar 800 ton dengan lendutan pada hubungan balok dan kolom (*joint*) sebesar 1,2mm.
2. Kapasitas struktur bangunan diambang keruntuhan pada penelitian ini adalah sebesar 2.532 ton dan lendutan maksimum pada hubungan balok dan kolom (*joint*) 2,47mm, dengan faktor kuat lebih sebesar 2,05.
3. Struktur baja bangunan penjemuran karet PT. Mardec Musi Lestari, pada kondisi normal masih mampu menahan beban yang direncanakan sebesar 800 ton.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). "*Tata Cara Perhitungan Struktur Baja*". SNI-03-1729-2002. Jakarta.
- CSI. (2005). "*Analysis Reference Manual*". Computers and Structures, Inc., Barkeley, California.
- Federal Emergency Management Agency. (2000), "*Prestandard and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Building*". FEMA 356, Washington, D.C.
- Imran, I dan B. Boediono. (2010). "*Mengapa? Gedung-gedung Kita Runtuh Saat Gempa*". Shortcourse Haki, 2010. Hotel Borobudur, Jakarta.
- Sapta. (2012). "*Perancangan Struktur Berbasis Kinerja Pada Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Akibat Beban Gempa*". Tesis, 2012.