



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KERUNTUHAN TEKUK STRUKTUR BANGUNAN
PENGERINGAN KARET**

SKRIPSI

Oleh :

GEOVANIE LUKAS WIJAYA

0706266273

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2010/2011**

1064/FT.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KERUNTUHAN TEKUK STRUKTUR BANGUNAN
PENGERINGAN KARET**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**GEOVANIE LUKAS WIJAYA
0706266273**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Geovanie Lukas Wijaya

NPM : 0706266273

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Geovanie Lukas Wijaya

NPM : 0706266273

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Keruntuhan Tekuk Struktur Bangunan
Pengeringan Karet

Telah berhasil diujikan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr.-Ing.Ir. Josia I Rastandi ()

Pembimbing II : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng ()

Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA ()

Penguji : Dr.-Ing.Ir. Henki W Ashadi ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan, hanya karena kasih dan anugerah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr.-Ing.Ir. Josia I Rastandi selaku dosen pembimbing I dan Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orangtua dan saudara saya, yang selalu memberikan dukungan untuk saya mengerjakan skripsi ini;
- (3) Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- (4) Mba Dian selaku pihak yang sudah sangat direpotkan dalam pengerjaan skripsi ini.
- (5) Seluruh teman khususnya di Teknik Sipil 2007 dan POFT UI yang telah memberikan bantuan/dukungan semangat dan doa untuk kelancaran penyusunan skripsi ini.
- (6) Teman seperjuangan: Radea Ariyadira, Mustofa Rifki, dan Geraldie.

Akhir kata, saya berharap Tuhan berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu untuk ke depannya.

Depok, 28 Juni 2011



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Geovanie Lukas Wijaya

NPM : 0706266273

Program Studi : Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free-Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisis Keruntuhan Tekuk Struktur Bangunan Pengeringan Karet

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 28 Juni 2011

Yang menyatakan



(Geovanie Lukas Wijaya)

ABSTRAK

Nama : Geovanie Lukas Wijaya
Program Studi : Teknik Sipil
Title : Analisis Keruntuhan Tekuk Struktur Bangunan Pengeringan Karet

Pembangunan di Indonesia yang berkembang pesat setiap tahunnya, menimbulkan persaingan yang ketat di antara penyedia jasa konstruksi. Dewasa ini, banyaknya perusahaan yang menawarkan jasa konstruksi menimbulkan persaingan yang ketat untuk mendapatkan kepercayaan dari masyarakat agar menggunakan jasanya. Namun terkadang dalam realitanya terjadi persaingan yang tidak sehat, dimana terjadi perusahaan yang menawarkan jasa konstruksi yang tidak sesuai dengan bidangnya. Hal ini menandakan masih lemahnya pengawasan dari pemerintah terhadap perusahaan penyedia jasa konstruksi yang ada di Indonesia, khususnya di kota – kota kecil.

Dalam penelitian ini penyusun menganalisis suatu kasus kegagalan struktur pada bangunan pengeringan karet, yang diidentifikasi sebagai kegagalan tekuk pada kolom – kolomnya. Struktur bangunan dimodelkan secara tiga dimensi dengan menggunakan program *SAP2000*, dan analisis yang digunakan adalah statis nonlinear, dikarenakan tidak terjadi gempa sewaktu struktur bangunan mengalami keruntuhan.

Dari penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa struktur bangunan memang tidak dapat menahan pembebanan yang direncanakan. Hal ini diperparah dengan terjadinya korosi pada elemen – elemen struktur bangunan.

Kata Kunci: keruntuhan tekuk, bangunan pengeringan karet, analisis statis nonlinear

ABSTRACT

Name : Geovanie Lukas Wijaya
Study Program: Civil Engineering
Title : Buckling Analysis of Crumb Rubber Factory Structure

Development in Indonesia is growing rapidly every year, creating intense competition among providers of construction services. Nowadays, many companies offering construction services create strict competition to earn public trust to use their services. However, sometimes in practice happens unfair competition, where company offers construction services which do not correspond to its specialty. This indicates the weakness of government oversight of the construction services provider company in Indonesia, especially in the small town regions.

In this study the author analyzes a case of structural failure in the crumb rubber factory that is identified as buckling in the columns. The building structure is modeled in three dimensions by using SAP2000, and the analysis used is a nonlinear static, because no earthquake occurs when the structure collapsed.

From the research conducted, it is known that structures are not able to withstand the planned loading. This is exacerbated by the occurrence of corrosion on the elements of building structures.

Keyword: buckling, crumb rubber factory, nonlinear static analysis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	1
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB 2 LITERATUR REVIEW	4
2.1 Keruntuhan Tekuk.....	4
2.2 Sambungan	6
2.2.1 Sambungan Baut	6
2.2.2 Sambungan Las	8
2.3 Peraturan Mengenai Komponen Struktur Tekan.....	9
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Rencana Penelitian	21
3.2 Pelaksanaan	23
3.2.1 Data – Data Teknis Struktur Bangunan Pengeringan Karet	23
3.2.2 Konfigurasi Pembebanan pada Struktur Bangunan	27
3.2.3 Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga.....	31
3.2.4 Pemodelan Keruntuhan Struktur Bangunan pada <i>SAP2000</i>	33
BAB 4 ANALISIS HASIL PEMODELAN.....	34
4.1 Analisa Hasil Pemodelan	35
4.1.1 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen sruktur	35
4.1.2 Mode keruntuhan tekuk yang terjadi	38
4.1.3 Keruntuhan tekuk yang terjadi.....	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR REFERENSI	51
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Potongan memanjang.....	23
Gambar 3. 3 Potongan melintang.....	23
Gambar 3. 4 Foto kolom yang telah berkarat.....	25
Gambar 3. 5 Foto elemen – elemen struktur baja lainnya yang telah berkarat.....	26
Gambar 3. 6 Foto pembebanan lembaran karet mentah dari gedung pengeringan karet lainnya yang tipikal.....	28
Gambar 3. 7 Denah tipikal platform dan potongan.....	29
Gambar 4. 1 Layout Struktur Bangunan Pengeringan Karet	34
Gambar 4. 2 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan kondisi eksisting (tipikal untuk portal tepi).....	35
Gambar 4. 3 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan kondisi eksisting (tipikal untuk portal dalam).....	35
Gambar 4. 4 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan <i>Shop Drawing</i> (tipikal untuk portal tepi)	36
Gambar 4. 5 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan IMB 2010 (tipikal untuk portal dalam)	36
Gambar 4. 6 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan kondisi eksisting (tipikal untuk portal dalam).....	37
Gambar 4. 7 Foto kegagalan tekuk pada kolom pinggir untuk portal dalam.....	38
Gambar 4. 8 Mode I dari keruntuhan tekuk linear struktur bangunan pada kondisi eksisting	38
Gambar 4. 9 Mode I dari keruntuhan tekuk linear struktur bangunan menurut <i>shop drawing</i>	39
Gambar 4. 10 Foto keruntuhan kolom pada lantai dasar	40
Gambar 4. 11 Foto keruntuhan kolom pada lantai dasar	41
Gambar 4. 12 Foto keruntuhan kolom pada lantai dasar	41
Gambar 4. 13 Pemetaan kolom – kolom lantai dasar struktur bangunan pengeringan karet.....	42
Gambar 4. 14 Pemetaan sendi plastis pada kolom lantai dasar	42
Gambar 4. 15 Mulai terjadi <i>yielding</i> pada portal x2 dan x10	43
Gambar 4. 16 Mulai terjadi sendi plastis pada tahap <i>Immediate Occupancy</i>	43
Gambar 4. 17 Mulai terjadi sendi plastis pada tahap <i>Life Safety</i>	44
Gambar 4. 18 Terjadinya <i>collapse</i> pada kolom 61, 355, dan 397.....	45
Gambar 4. 19 Contoh pembacaan sendi plastis yang terjadi pada kolom.....	45
Gambar 4. 20 Mulai terjadi <i>yielding</i> pada portal x2 dan x10	47
Gambar 4. 21 Mulai terjadi sendi plastis pada tahap <i>Immediate Occupancy</i>	47
Gambar 4. 22 Terjadinya tahap <i>life safety</i> pada kolom 55, 61, 67, 391, 397, dan 403.....	48
Gambar 4. 23 Kurva hubungan tegangan regangan yang tidak linear	50

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Nilai Mutu Material Hasil Uji Tarik	24
Tabel 3. 2 Detail Elemen Struktur Kolom dan Balok	25
Tabel 3. 3 Detail Elemen Struktur Lainnya	26
Tabel 3. 4 Tabulasi Spesifikasi Model I dan Model II	27
Tabel 4. 1 Faktor tekuk model 1 dari program komputer SAP2000.....	39
Tabel 4. 2 Faktor tekuk model 1 dari program komputer SAP2000.....	40
Tabel 4. 3 Tabulasi besarnya gaya aksial pada sendi plastis dengan tahapan – tahapan yang terjadi pada sendi plastis	46
Tabel 4. 4 Tabulasi besarnya gaya aksial pada sendi plastis dengan tahapan – tahapan yang terjadi pada sendi plastis	49
Tabel 4. 5 Tabulasi hasil pemodelan model 1 dan model 2.....	50



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara yang padat penduduknya tentu tak terhindarkan dari pembangunan fisik yang berlangsung terus menerus. Hal ini guna memenuhi kebutuhan manusia akan tempat tinggal, tempat untuk bekerja, dan lain sebagainya. Oleh karenanya, tumbuh perusahaan – perusahaan baik pemerintah ataupun swasta yang menawarkan layanan jasa konsultasi perencanaan pekerjaan konstruksi, layanan jasa pelaksanaan pekerjaan konstruksi, dan layanan jasa konsultasi pengawasan pekerjaan konstruksi.

Dewasa ini, banyaknya perusahaan yang menawarkan jasa konstruksi menimbulkan persaingan yang ketat untuk mendapatkan kepercayaan dari masyarakat agar menggunakan jasanya. Namun terkadang dalam realitanya terjadi persaingan yang tidak sehat, dimana terjadi perusahaan yang menawarkan jasa konstruksi yang tidak sesuai dengan bidangnya. Padahal dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 1999 tentang Jasa Konstruksi sudah diatur masalah perizinan bagi penyedia jasa konstruksi. Hal ini menandakan masih lemahnya pengawasan dari pemerintah terhadap perusahaan penyedia jasa konstruksi yang ada di Indonesia.

Belum lama ini, pada tanggal 21 Mei 2010, terjadi kegagalan struktur pada sebuah bangunan pengeringan getah karet yang mengakibatkan bangunan tersebut roboh. Sudah tentu kejadian ini tidak perlu terjadi jika penyedia jasa konstruksi menjalankan tugasnya dengan baik dengan mengikuti standar – standar yang telah ditetapkan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penulisan skripsi ini adalah mensimulasikan dan menganalisis keruntuhan tekuk yang terjadi struktur bangunan pengeringan karet. Untuk perencanaan strukturnya, karena material utama yang digunakan untuk

struktur bangunan pengeringan karet adalah baja, maka menggunakan SNI 03-1729-2002. Sedangkan untuk pembebanannya menggunakan SKBI – 1.3.53.1987.

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mendapatkan pemodelan keruntuhan tekuk struktur bangunan pengeringan karet di Palembang. Topik dari penulisan skripsi ini adalah *Analisis Keruntuhan Tekuk Struktur Bangunan Pengeringan Karet*.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan skripsi ini adalah agar mahasiswa mengerti salah satu contoh kegagalan struktur pada bangunan, dalam hal ini adalah keruntuhan tekuk. Dalam penulisan skripsi ini, kasus keruntuhan tekuk yang kemudian disimulasi dan dianalisis merupakan kasus nyata yang terjadi pada suatu bangunan pengeringan karet yang ada di Indonesia. Jadi skripsi ini merupakan sebuah persiapan akhir bagi mahasiswa, jika nantinya setelah lulus akan bekerja dalam bidang yang menyangkut permasalahan struktur bangunan.

1.4 Batasan Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini, bangunan yang disimulasikan dan dianalisis keruntuhan tekuknya adalah hanya bangunan pengeringan karet saja. Struktur kolom dalam bangunan pengeringan karet ini menggunakan material baja. Untuk setiap sambungan baja pada bangunan pengeringan karet ini diasumsikan menggunakan jenis sambungan baut dan sambungan las.

Analisis keruntuhan tekuk pada bangunan pengeringan karet ini tidak menggunakan analasi dinamik, karena keruntuhan tekuk yang terjadi pada bangunan ini tidak diakibatkan oleh gempa, tetapi oleh beban gravitasi saja.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 (lima) bab, antara lain:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : LITERATUR REVIEW

Bab ini membahas mengenai dasar teori kegagalan struktur bangunan yang berupa keruntuhan tekuk dan juga dasar teori mengenai jenis – jenis sambungan yang digunakan dalam perencanaan suatu struktur bangunan. Lalu juga akan ada pembahasan mengenai peraturan – peraturan yang berhubungan dengan perencanaan struktur yang mengalami pembebanan tekan, berdasarkan **SNI 03-1729-2002** (*Standar Nasional Indonesia*) *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*.

BAB 3 : METODELOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai urutan metode beserta penjabarannya di dalam mensimulasikan dan menganalisis *Keruntuhan Tekuk Struktur Bangunan Pengeringan Karet*.

BAB 4 : ANALISIS KERUNTUHAN TEKUK PADA BANGUNAN PENERINGAN KARET

Bab ini membahas mengenai analisis keruntuhan tekuk pada bangunan pengeringan karet. Perhitungan perilaku struktur bangunan pengeringan karet ini dilakukan dengan program komputer.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berupa kesimpulan dan saran mengenai analisis keruntuhan tekuk pada bangunan pengeringan karet mengacu pada hasil analisis pemodelan yang telah dilakukan.

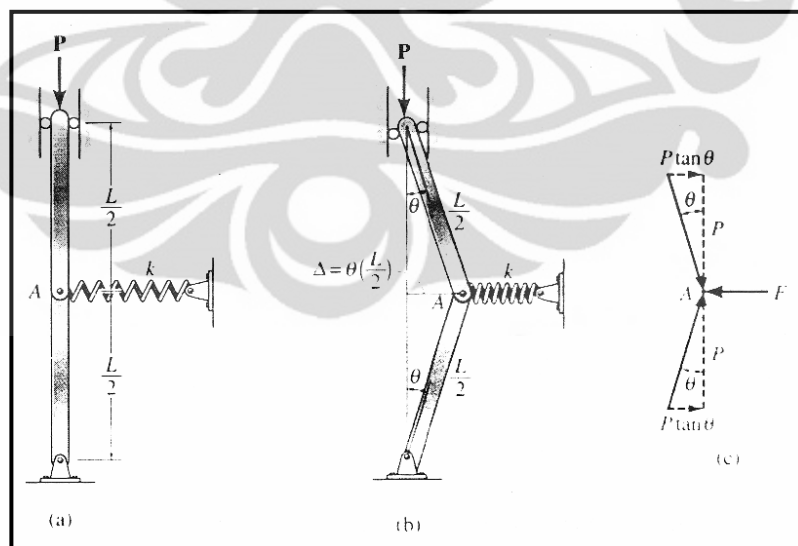
BAB 2

LITERATUR REVIEW

2.1 Keruntuhan Tekuk

Dalam skripsi ini akan disimulasikan dan dianalisis mengenai kegagalan struktur pada suatu bangunan pengeringan getah karet, yaitu berupa keruntuhan tekuk pada kolom – kolomnya. Kolom didefinisikan sebagai suatu member yang panjang dan langsing yang menerima suatu gaya tekan aksial, sedangkan tekuk merupakan defleksi lateral yang terjadi pada sebuah kolom akibat diberi pembebanan aksial. Keruntuhan tekuk yang terjadi pada suatu kolom biasanya terjadi secara tiba – tiba.

Gaya aksial maksimum yang dapat ditanggung oleh sebuah kolom ketika kolom tersebut berada dalam batas keruntuhan tekuknya disebut dengan beban kritis (P_{cr}). Jika kolom dimodelkan sebagai dua buah member yang diasumsikan tidak bermassa dan kaku, yang pada bagian ujung-ujungnya terhubung dengan menggunakan sebuah pin, dan pada bagian yang terhubung ini dipasang sebuah pegas dalam arah lateral, seperti pada gambar berikut:



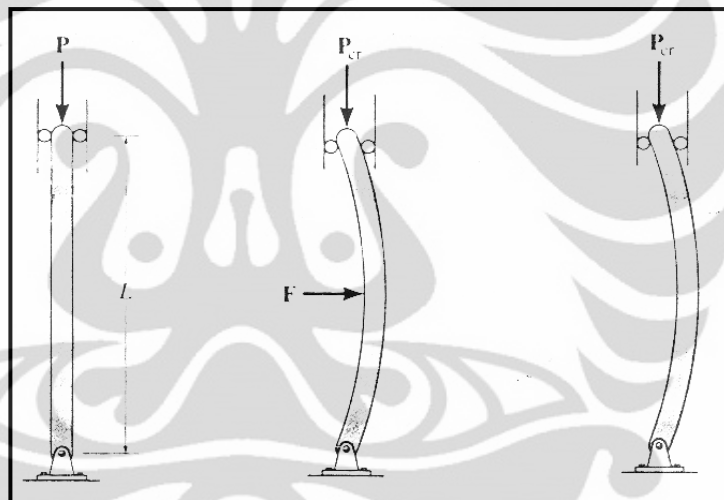
Gambar 2. 1 Pemodelan sederhana tekuk pada kolom

diketahui besarnya beban kritis kolom tersebut yaitu:

$$P_{cr} = \frac{kL}{4}$$

dimana: k adalah kekakuan pegas
L adalah panjang kolom tersebut.

Pada tahun 1757, Leonhard Euler melakukan pemodelan kolom dengan lebih ideal lagi untuk mencari besarnya beban kritis suatu kolom. Euler memodelkan sebuah kolom sebagai sebuah member vertikal yang pada bagian pangkalnya dipasang perletakan sendi, dan bagian ujungnya, bagian yang menerima pembebanan aksial, dipasang perletakan rol, yaitu seperti gambar berikut:



Gambar 2. 2 Pemodelan Euler untuk tekuk pada kolom

dengan pemodelan kolom yang dilakukan oleh Euler ini didapatkan besarnya beban kritis adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

dimana: E adalah modulus elastisitas dari kolom
I adalah momen inersia terkecil yang dimiliki oleh penampang kolom
L adalah panjang kolom

Dari beban kritis ini, kita bisa mendapatkan besarnya tegangan kritis, yaitu:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

dimana σ_{cr} adalah tegangan kritis kolom sebelum kolom tersebut mengalami keruntuhan tekuk, dimana tegangan ini merupakan tegangan yang elastis, sehingga $\sigma_{cr} \leq \sigma_Y$ (tegangan leleh); r adalah adalah jari – jari girasi terkecil dari suatu kolom, dan besarnya jari – jari girasi ini dapat dicari dengan rumus $r = \sqrt{I/A}$. Rasio L/r ini dikenal juga dengan istilah rasio kelangsingan kolom, yang digunakan untuk mengukur fleksibilitas suatu kolom, dan menentukan klasifikasi suatu kolom, yaitu sebagai kolom panjang, sedang, atau pendek.

Pemodelan yang dilakukan oleh Euler hanya terbatas pada suatu kolom yang dimodelkan sebagai member dengan pangkal dipasang perletakan sendi dan ujungnya dipasang perletakan rol. Untuk pemodelan kolom dengan ujung dan pangkal yang berbeda – beda jenis perletakannya, akan didapatkan besarnya beban kritis adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

dan besarnya tegangan kritis, yaitu:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Dimana K adalah faktor panjang efektif, yang didefinisikan sebagai $L_e = KL$, sedangkan (KL/r) adalah rasio kelangsingan efektif suatu kolom.

2.2 Sambungan

2.2.1 Sambungan Baut

Suatu baut yang memikul beban terfaktor, R_u , sesuai LRFD harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi \cdot R_n$$

dengan R_n adalah tahanan nominal baut sedangkan ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0,75.

2.2.1.1 Kuat Nominal Baut

- Tahanan Geser Baut

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan:

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

dimana: m adalah jumlah bidang geser
 r_1 besarnya 0,5 untuk baut tanpa ulir; 0,4 untuk baut dengan ulir
 f_u^b adalah kuat tarik baut
 A_b adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

- Tahanan Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya dihitung menurut:

$$R_n = 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

- Tahanan Tumpu Baut

Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

dimana: d_b adalah diamete baut pada daerah tak berulir
 t_p adalah tebal pelat
 f_u adalah kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat

Dalam SNI pasal 13.4 diatur mengenai tata letak baut. Jarak antar pusat lubang baut harus diambil tidak kurang dari 3 kali diameter nominal baut, dan jarak antara baut tepi dengan ujung pelat harus sekurang – kurangnya 1,5 diameter nominal baut. Dan jarak maksimum antar pusat lubang baut tak boleh melebihi 15 t_p (dengan t_p adalah tebal pelat tertipis dalam sambungan) atau 200 mm, sedangkan jarak tepi maksimum harus tidak melebihi (4 t_p + 100 mm) atau 200 mm.

- Sambungan Tipe Friksi

Apabila dikehendaki sambungan tanpa slip, maka satu baut yang hanya memikul gaya geser terfaktor, V_u , dalam bidang permukaan friksi harus memenuhi:

$$V_u < V_d$$

dimana: $V_d = \phi \cdot V_n$, adalah kuat geser satu baut dalam sambungan tipe friksi yang besarnya dihitung menurut:

$$V_d = \phi \cdot V_n = 1,13 \cdot \phi \cdot \mu \cdot m \cdot \text{proof load}$$

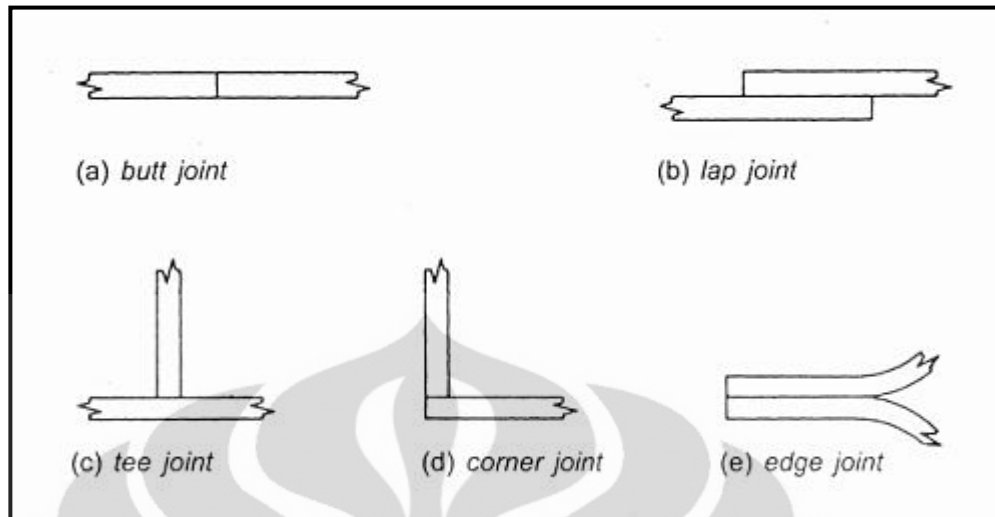
dimana: μ adalah koefisien gesek yang besarnya 0,35
 m adalah jumlah bidang geser
 ϕ besarnya 1,0 untuk lubang standar; 0,85 untuk lubang selot pendek dan lubang besar; 0,70 untuk lubang selot panjang tegak lurus arah gaya; dan 0,60 untuk lubang selot panjang sejajar arah gaya

2.2.2 Sambungan Las

2.2.2.1 Jenis – Jenis Sambungan

Jenis – jenis sambungan yang umum dijumpai pada sambungan las antara lain:

- a) Sambungan Sebidang (*butt joint*), sambungan yang umum dipakai untuk pelat – pelat datar dengan ketebalan sama atau hampir sama, keuntungan sambungan ini adalah tak adanya eksentrisitas. Ujung – ujung yang hendak disambung harus dipersiapkan terlebih dahulu (diratakan atau dimiringkan) dan elemen yang disambung harus dipertemukan secara hati – hati.
- b) Sambungan Lewatan (*lap joint*), jenis sambungan yang paling banyak dijumpai karena sambungan ini mudah diseuaikan keadaan di lapangan dan juga penyambungannya relative lebih mudah. Juga cocok untuk tebal pelat yang berlainan.
- c) Sambungan Tegak (*tee joint*), sambungan ini banyak dipakai terutama untuk membuat penampang tersusun seperti bentuk I, dan pelat girder.
- d) Sambungan Sudut (*corner joint*), dipakai untuk penampang tersusun berbentuk kotak yang digunakan untuk kolom atau balok yang menerima gaya torsi yang besar.
- e) Sambungan Sisi (*edge joint*), sambungan ini bukan jenis struktural dan digunakan untuk menjaga agar dua atau lebih pelat tidak bergeser satu dengan yang lainnya.



Gambar 2. 3 Tipe – tipe sambungan las

2.2.2.2 Jenis – Jenis Las

Jenis – jenis las yang sering dijumpai, antara lain:

- a) Las Tumpul (*groove welds*), adalah tipe las yang dipakai untuk menyambung batang – batang sebidang, karena las ini harus menyalurkan secara penuh beban yang bekerja, maka las ini harus memiliki kekuatan yang sama dengan batang yang disambungnya.
- b) Las Sudut (*fillet welds*), adalah tipe las yang paling umum dijumpai. Dalam pelaksanaannya tidak memerlukan presisi yang tinggi.
- c) Las Baji dan Las Pasak (*slog and plug welds*), adalah tipe las yang biasa digunakan bersamaan dengan las sudut. Manfaat utamanya adalah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukuran panjang las terbatas oleh panjang yang tersedia untuk las sudut.

2.3 Peraturan Mengenai Komponen Struktur Tekan

Dalam perencanaan struktur kolom yang menggunakan material baja, mengacu pada **SNI 03-1729-2002** (*Standar Nasional Indonesia*) *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*, pada butir 7.6 dibahas mengenai analisis tekuk komponen struktur, yaitu sebagai berikut:

a. Gaya tekuk elastis

Gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) ditetapkan sebagai berikut:

$$N_{cr} = \frac{A_b \cdot f_y}{\lambda_c^2}$$

dengan parameter kelangsingan kolom, λ_c , ditetapkan sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

dengan $L_k = k_c \cdot L$ dan f_y adalah tegangan leleh material, sedangkan k_c adalah faktor panjang tekuk.

b. Daya dukung nominal komponen struktur tekan

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil daripada nilai λ_r pada tabel, daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega}$$

untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1$

untuk $0,25 < \lambda_c \leq 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$

untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25\lambda_c^2$

keterangan:

A_g adalah luas penampang brutto (mm^2)

f_{cr} adalah tegangan kritis penampang (MPa)

f_y adalah tegangan leleh material (MPa)

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih besar daripada nilai λ_r pada tabel, analisis kekuatan dan kekakuannya dilakukan secara tersendiri dengan mengacu pada metode – metode analisis yang rasional.

1. Faktor panjang tekuk

Nilai faktor panjang tekuk (k_c) bergantung pada kekangan rotasi dan translasi pada ujung – ujung komponen struktur. Untuk komponen struktur tekan yang merupakan bagian dari suatu rangka bersambungan kaku, nilai faktor

Universitas Indonesia

panjang tekuk (k_c) ditetapkan untuk komponen struktur tak – bergoyang dan untuk komponen struktur bergoyang. G_A dan G_B adalah perbandingan antara kekakuan komponen struktur dengan tekan dominan terhadap kekakuan komponen struktur relative bebas tekan, masing – masing pada ujung A dan ujung B. Nilai G suatu komponen struktur ditentukan sebagai berikut:

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_b}$$

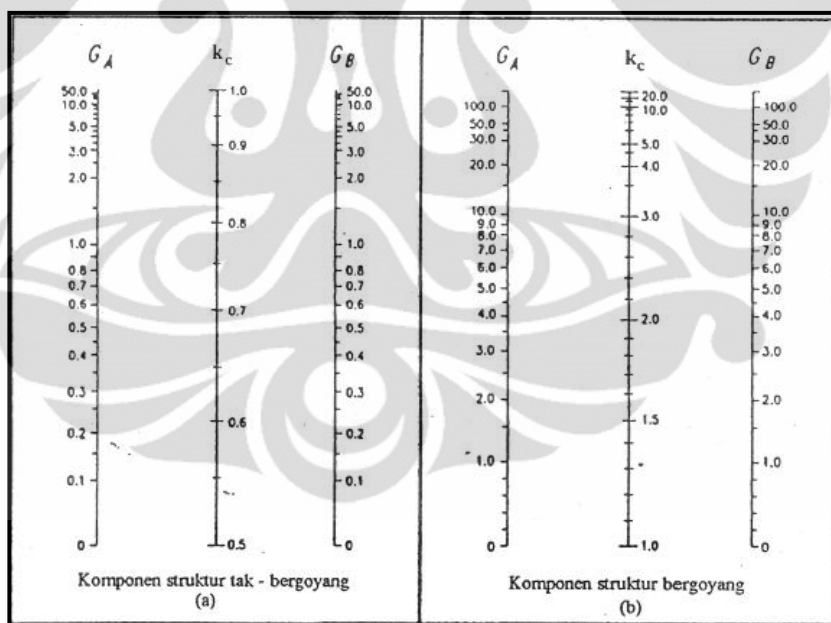
kecuali bahwa:

- i. Untuk komponen struktur tekan yang dasarnya tidak terhubung secara kaku pada fondasi, nilai G tidak boleh diambil kurang dari 10, kecuali bila dilakukan analisis khusus untuk menetapkan nilai G tersebut; dan
- ii. Untuk komponen struktur tekan yang dasarnya terhubung secara kaku pada fondasi, nilai G tidak boleh diambil kurang dari 1, kecuali bila dilakukan analisis khusus untuk menetapkan nilai G tersebut.

Besaran $\sum \left(\frac{I}{L}\right)_c$ dihitung dengan menjumlahkan kekakuan semua komponen struktur tekan – dengan bidang lentur yang sama – yang terhubung secara kaku pada ujung komponen struktur yang sedang ditinjau, termasuk komponen struktur itu sendiri. Besaran $\sum \left(\frac{I}{L}\right)_b$ dihitung dengan menjumlahkan kekakuan semua komponen struktur lentur – dengan bidang lentur yang sama – yang terhubung secara kaku pada ujung komponen struktur yang sedang ditinjau.

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai k_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai k_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

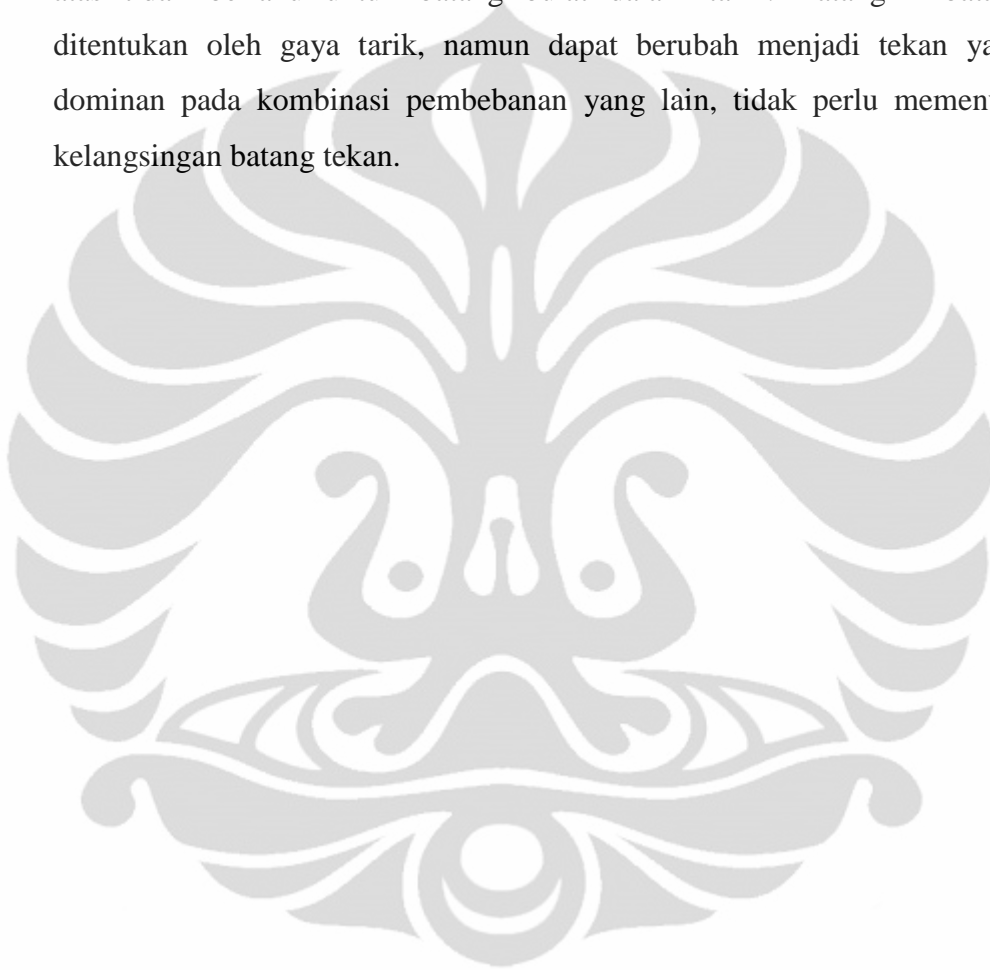
Gambar 2. 4 Nilai k_c untuk kolom dengan ujung – ujung yang ideal



Gambar 2. 5 (a) Nilai k_c untuk komponen struktur tak bergoyang; (b) untuk komponen struktur tak bergoyang.

2. Batas kelangsingan

Untuk batang – batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\lambda = L_k/r$ dibatasi sebesar 200. Untuk batang – batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingan L/r dibatasi sebesar 300 untuk batang sekunder dan 240 untuk batang primer. Ketentuan di atas tidak berlaku untuk batang bulat dalam tarik. Batang – batang yang ditentukan oleh gaya tarik, namun dapat berubah menjadi tekan yang tidak dominan pada kombinasi pembebanan yang lain, tidak perlu memenuhi batas kelangsingan batang tekan.



Tabel 2. 1 Perbandingan Maksimum Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tertekan

Jenis Elemen	Perbandingan lebar terhadap tebal λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal		
		λ_p (kompak)	λ_r (tak – kompak)	
Elemen tanpa pengaku	Pelat sayap balok I dank anal dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_y}$ [c]	$370/\sqrt{f_y - f_r}$
	Pelat sayap balok I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_{yf}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_y - f_r)/k_e}}$
	Pelat sayap dari komponen – komponen struktur terstruktur dalam tekan.	b/t	-	$290/\sqrt{f_y/k_e}$
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan plat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan.	b/t	-	$250/\sqrt{f_y}$

	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap pada profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu, yang ditumpu pada salah satu sisinya.	b/t	-	$200/\sqrt{f_y}$
	Pelat badan dari profil T.	d/t	-	$355/\sqrt{f_y}$
Elemen dengan Pengaku	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan; pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak di antara baut – baut atau las	b/t	$500/\sqrt{f_y}$	$625/\sqrt{f_y}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	b/t	-	$830/\sqrt{f_y}$
	Bagian – bagian pelat badan dalam tekan	h/t _w	$1680/\sqrt{f_y}$ [c]	$2550/\sqrt{f_y}$ [g]

akibat lentur [a]			
Bagian – bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	h/t_w	<p>Untuk:</p> $N_u/\phi_b N_y \leq 0,125[c]$ $\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74N_u}{\phi_b N_y} \right]$ <p>Untuk:</p> $N_u/\phi_b N_y > 0,125[c]$ $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{0,74N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{655}{\sqrt{f_y}}$	<p>[g]</p> $\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \times \left[1 - \frac{0,74N_u}{\phi_b N_y} \right]$
Elemen – elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya	b/t h/t_w		$665/\sqrt{f_y}$

Penampang bulat berongga: Pada tekan aksial Pada lentur	D/t	[d] - $14800/f_y$	$22000/f_y$ $62000/f_y$
<p>[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_{yf} sebagai ganti f_y.</p> <p>[b] Ambil luas netto plat pada lubang terbesar</p> <p>[c] Dianggap kapasitas rotasi inelastic sebesar 3. Untuk struktur – struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.</p> <p>[d] Untuk perencanaan plastis gunakan $9000/f_y$</p>		<p>[e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap</p> <p>= 70 MPa untuk penampang dirol</p> <p>= 115 MPa untuk penampang dilas</p> <p>[f] $k_e = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ dengan: $0,35 \leq k_e \leq 0,763$</p> <p>[g] f_y adalah tegangan leleh minimum.</p>	

Sedangkan pada pasal 9 dalam SNI 03-1729-2002 (*Standar Nasional Indonesia*) Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, dibahas mengenai komponen struktur tekan, yaitu sebagai berikut:

1) Perencanaan akibat gaya tekan

Suatu Komponen Struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u , harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a) $N_u \leq \phi_n \cdot N_n$

Keterangan:

ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur

b) Perbandingan kelangsingan

- Kelangsingan elemen penampang $< \lambda_r$ (lihat tabel 7.5-1)

- Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{L_k}{r} < 200$

c) Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λ_r yang ditentukan dalam tabel 7.5-1 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

2) Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-torsi

Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-torsi, $\phi_n \cdot N_{nlt}$ dari komponen struktur tekan yang terdiri dari siku-ganda atau berbentuk T, dengan elemen – elemen penampangnya mempunyai rasio tebal, λ_r lebih kecil daripada yang ditentukan dalam tabel 7.5-1 harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi_n \cdot N_{nlt}$$

dengan ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan (lihat tabel 6.4-2)

$$N_{nlt} = A_g \cdot f_{clt}$$

$$f_{clt} = \left(\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{\frac{4 \cdot f_{cry} \cdot f_{crz} \cdot H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}} \right]$$

dimana: $f_{crz} = \frac{G \cdot J}{A \bar{r}_0^2}$

dengan: \bar{r}_0^2 adalah jari – jari girasi polar terhadap pusat geser.

$$\bar{r}_0^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_o^2 + y_o^2$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \right)$$

keterangan:

x_o, y_o adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat, $x_o = 0$ untuk siku ganda dan profil T (sumbu y – sumbu simetris)

f_{cry} dihitung sesuai dengan persamaan $f_{cr} = \frac{f_y}{\omega}$; untuk lentur terhadap sumbu lemah y-y, dan dengan menggunakan harga λ_c , yang dihitung dengan rumus:

$$\lambda_r = \frac{L_{ky}}{\pi \cdot r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

dengan L_{ky} adalah panjang tekuk dalam arah sumbu lemah y-y.

Pada butir 15.6.1 dalam **SNI 03-1729-2002** (*Standar Nasional Indonesia*) *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*, dikatakan kolom untuk sistem rangka tahan gempa harus memenuhi syarat:

$$N_u / \phi N_n > 0,4$$

Pada butir 15.6.1.1 juga dijelaskan mengenai besarnya gaya tekan terfaktor kolom yang dapat menyebabkan terjadinya tekuk pada struktur kolom, tanpa adanya pengaruh dari momen – momen yang bekerja, yaitu ditetapkan berdasarkan kombinasi persamaan:

$$N_u = 1,2D + \gamma_L L + \Omega_0 E_h ;$$

dimana:

D adalah pengaruh beban mati yang disebabkan oleh berat elemen struktur dan beban tetap pada struktur

L adalah pengaruh beban hidup akibat pengguna gedung dan peralatan bergerak;

E_h adalah pengaruh dari komponen horizontal gaya gempa

Ω_0 adalah faktor kuat cadang struktur.

Berikut merupakan peraturan lain yang digunakan untuk mendukung dalam mensimulasikan dan menganalisis *Keruntuhan Tekuk Struktur Bangunan Pengeringan Karet*:

SKBI – 1.3.53.1987, membahas mengenai *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Sebagai panduan perencanaan pembebanan untuk bangunan pengeringan karet.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

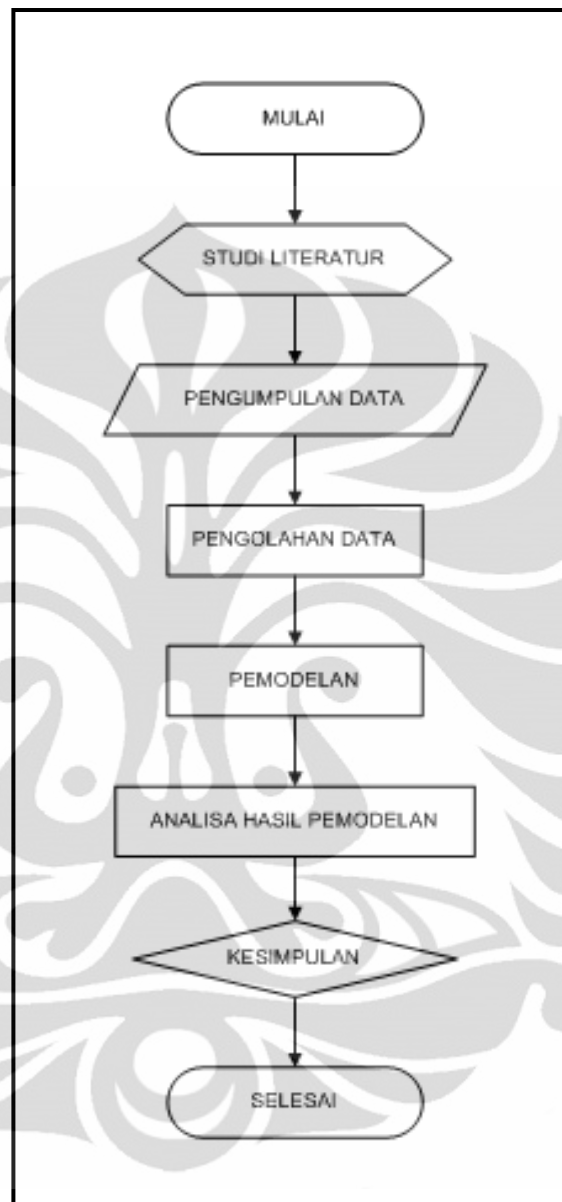
Penelitian ini seluruhnya akan dilakukan dengan menggunakan bantuan program komputer. Penelitian ini meliputi pengumpulan data – data teknis dari struktur bangunan, pemodelan struktur bangunan, dan pemodelan dari keruntuhan tekuk struktur kolomnya.

Pemodelan dilakukan sebanyak dua buah. Pemodelan pertama (Model I) berupa pemodelan bangunan menurut kondisi eksistingnya, sedangkan pemodelan kedua (Model II) berupa pemodelan bangunan menurut *shop drawing*-yang terdapat didalam IMB bangunan tersebut. Pemodelan dilakukan dengan menginput data – data teknis dari struktur bangunan pengeringan karet ini ke dalam program komputer *SAP2000*. Data – data teknis ini berupa denah struktur bangunan pengeringan karet, spesifikasi material yang digunakan, detail profil elemen – elemen struktur bangunan, dan pembebanan yang diterima oleh struktur bangunan. Data – data teknis dari struktur bangunan pengeringan karet ini semuanya berasal dari perusahaan konsultan struktur PT. Rekatama Konstruksindo.

Pemodelan keruntuhan tekuknya akan dilakukan dengan cara memberikan pembebanan secara kontinu kepada struktur bangunan yang sudah dimodelkan juga sebelumnya, sampai pada batas pembebanan ultimitnya, agar jejak keruntuhan tekuknya dapat terekam.

Kemudian hasil yang didapatkan dari kedua pemodelan, akan dilakukan analisis mengenai proses terjadinya keruntuhan tekuk pada bangunan pengeringan karet tersebut.

Berikut merupakan diagram alir dari metodologi penelitian skripsi ini:



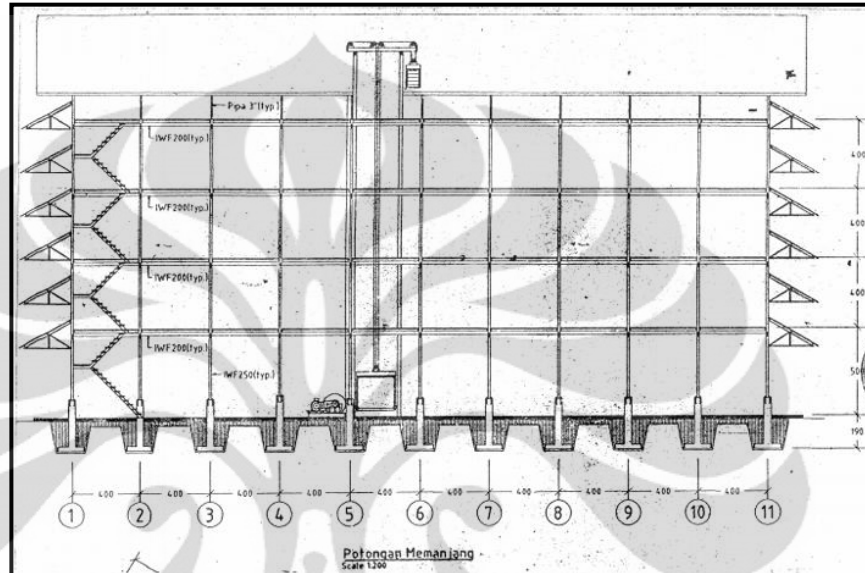
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2 Pelaksanaan

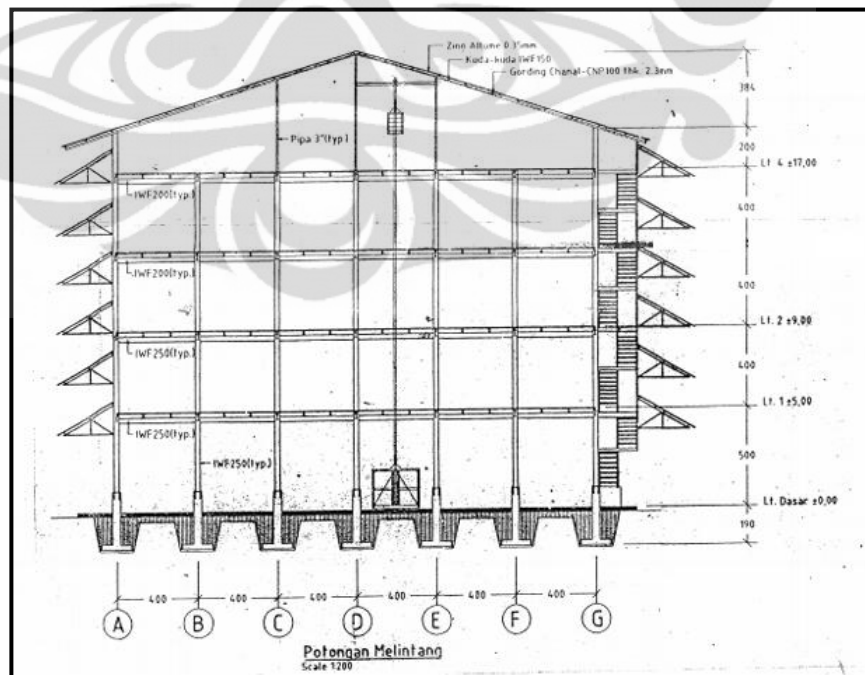
3.2.1 Data – Data Teknis Struktur Bangunan Pengeringan Karet

a. Gambar potongan struktur bangunan

Berikut adalah gambar potongan struktur bangunan yang akan dianalisis keruntuhan tekuknya:



Gambar 3. 2 Potongan memanjang



Gambar 3. 3 Potongan melintang

Berikut merupakan spesifikasi dimensi bangunan pengeringan karet:

Panjang bangunan : 40 m

Lebar bangunan : 24 m

Tinggi bangunan : 22,84 m

Jumlah lantai : 4 lantai

Tinggi lantai : 4 m (tipikal)

Lebar balok : 4 m (tipikal)

b. Spesifikasi kekuatan material

Untuk Model II, menggunakan mutu baja rencana BJ 37 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Kuat tarik min. (f_u) : 370 MPa
Kuat leleh min. (f_y) : 240 MPa
Modulus elastisitas (E) : $2,1 \cdot 10^6$ kg/cm²

Sementara untuk Model I menggunakan mutu material baja hasil uji tarik, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Nilai Mutu Material Baja Hasil Uji Tarik

Type Baja	f_u (Mpa)	f_y (MPa)
WF 250x125x6x9	480	330
WF 200x100x5,5x8	420	330
WF 150x75x5x7	560	410
Siku 50x50x5	660	470

Dikarenakan yang digunakan sebagai elemen utama struktur bangunan tersebut adalah tipe baja WF 250x125x6x9 dan WF 200x100x5,5x8; maka mutu material yang digunakan akan disederhanakan ke dalam satu nilai, yaitu sebagai berikut:

Kuat tarik min. (f_u) : 450 MPa
Kuat leleh min. (f_y) : 330 MPa
Modulus elastisitas (E) : $2,1 \cdot 10^6$ kg/cm²

c. Detail profil penampang elemen – elemen struktur

Untuk detail profil penampang elemen – elemen struktur, ada dua acuan data yang digunakan. Acuan data yang pertama adalah shop drawing yang terdapat pada IMB bangunan dan acuan data yang kedua adalah hasil pengukuran langsung elemen – elemen struktur bangunan tersebut. Pengukuran langsung dirasa perlu dilakukan karena kondisi elemen – elemen struktur yang sudah terkorosi. Pengukuran langsung elemen struktur yang berupa kolom dan balok ini dilakukan secara acak, yang kemudian hasilnya dirata-ratakan menjadi satu nilai agar ketika dimodelkan menjadi lebih mudah, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Detail Elemen Struktur Kolom dan Balok

Elemen Struktur	Shop Drawing	Kondisi Eksisting
Kolom	WF 250x125x6x9	WF 250x125x(4)x(6)
Balok	WF 200x100x5,5x8	WF 200x100x(4,5)x(7)



Gambar 3. 4 Foto kolom yang telah berkarat



Gambar 3. 5 Foto elemen – elemen struktur baja lainnya yang telah berkarat

Untuk Model I profil penampang kolom dan baloknya didasarkan dari pengukuran langsung di lapangan, sementara untuk Model II didasarkan dari apa yang tertera pada *shop drawing*-nya. Sedangkan untuk elemen – elemen struktur lainnya yang tergolong kecil, baik pemodelan pertama maupun pemodelan kedua, profil penampangnya didasarkan pada *shop drawing* yang terdapat pada IMB bangunan pengeringan karet tersebut, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Detail Elemen Struktur Lainnya

Elemen Struktur	Tipe Baja
Kanopi	Siku 50x50x5
Gording	Channel 100x50x2,3
Kuda – kuda	WF 150x75x5x7
Pipe Support	Pipe 3"

Bila diringkaskan, maka perbedaan Model I dan Model II adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Tabulasi Spesifikasi Model I dan Model II

ITEM	MODEL I	MODEL II
Denah Struktur Bangunan	Dari <i>Shop Drawing</i>	Dari <i>Shop Drawing</i>
Profil Penampang Elemen – Elemen Struktur	Dari <i>Shop Drawing</i> dan pengukuran langsung di lapangan	Dari <i>Shop Drawing</i>
Mutu Material	Mutu Baja hasil uji tarik	Mutu Baja Rencana BJ37

3.2.2 Konfigurasi Pembebanan pada Struktur Bangunan

a. Pembebanan Struktur Bangunan

Beban mati didefinisikan berdasarkan ketentuan dalam pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung 1987, sebagai berikut:

Beban mati pada struktur

Berat sendiri material baja : 7850 kg/m³

Berat sendiri material kayu : 1000 kg/m³

Beban hidup

Beban *crumb rubber* (karet) : 27 kg/lembar

Analisis pembebanannya sendiri adalah sebagai berikut:

Beban mati:

Berat kayu = 1000 kg/m³

Jumlah reng = 10 buah/m

Panjang reng = 1,33 m antar tumpuan

Berat reng 5/7 = $0,05 \times 0,07 \times 1,33 \times 10 \times 1000 = 46,55 \text{ kg/m}'$

Berat kaso 6,5/13,5 = $0,065 \times 0,13,5 \times 1000 = 8,8 \text{ kg/m}'$

Total berat karet:

Untuk pipe support sisi dalam = $46,55 + 8,8 = 55,4 \text{ kg/m}$

= 0,554 N/mm

$$\begin{aligned}\text{Untuk pipe support sisi tepi} &= 46,55/2 + 8,8 = 32,1 \text{ kg/m} \\ &= 0,321 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Beban hidup:

Berat karet (hasil timbang) = 27 kg/1lembar

Jumlah karet = 20 lembar/m (2×10 lembar dalam satu lajur reng)

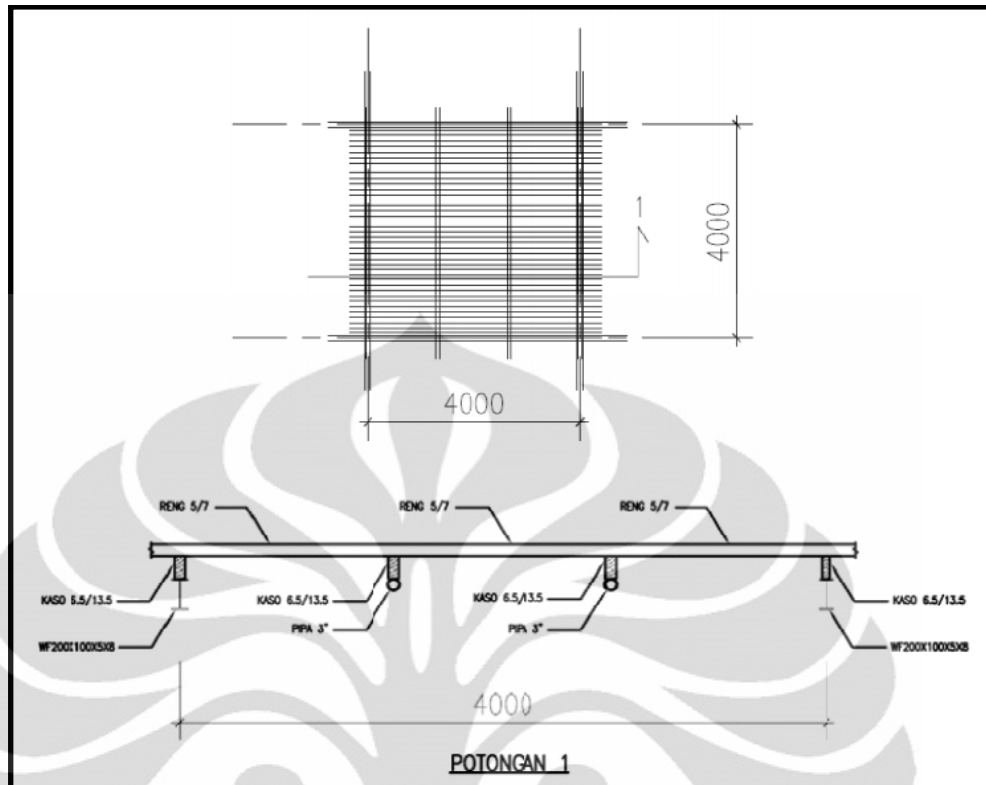
Total berat karet:

$$\text{Untuk pipe support sisi dalam} = 27\text{kg} \times 20 = 540 \text{ kg/m} = 5,4 \text{ N/mm}$$

$$\text{Untuk pipe support sisi tepi} = 27\text{kg} \times 10 = 270 \text{ kg/m} = 2,7\text{N/mm}$$



Gambar 3. 6 Foto pembebanan lembaran karet mentah dari gedung pengeringan karet lainnya yang tipikal



Gambar 3. 7 Denah tipikal platform dan potongan

Beban sementara (angin)

Sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (SKBI-1.3.53.1987), tekanan tiup angin harus diambil minimum 25 kg/m^2 , namun untuk daerah – daerah tertentu dimana kecepatan angin mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar, maka tekanan tiupnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$p = V^2/16$$

dengan p adalah tekanan tiup (kg/m^2) dan V adalah kecepatan angin (m/s).

Berdasarkan data kecepatan angin yang diamati dari Stasiun Meteorologi terdekat dari lokasi bangunan pengeringan karet tersebut, kecepatan angin maksimum adalah sebesar $V = 40 \text{ km/jam}$ ($11,11 \text{ m/s}$), sehingga besar tekanan tiup maksimum diperoleh sebesar:

$$p = (11,11)^2/16 = 7,72 \text{ kg/m}^2 < 25 \text{ kg/m}^2$$

tekanan tiup di atas masih jauh di bawah tekanan tiup minimum (25 kg/m^2), sehingga dapat disimpulkan bahwa beban angin pengaruhnya relatif kecil.

b. Kombinasi Pembebanan

Analisis struktur dilakukan berdasarkan kombinasi gaya dalam akibat masing – masing pembebanan. Kombinasi pembebanan untuk analisis struktur ini adalah sebagai berikut:

Kombinasi beban tetap

1. $q_u = 1,4q_{DL}$
2. $q_u = 1,2q_{DL} + 1,6q_{LL} + 0,5q_{La}$
3. $q_u = 1,2q_{DL} + 1,6q_{La} + \tau q_{LL}$

Kombinasi beban sementara

1. $q_u = 0,9q_{DL} \pm 1,3q_W$
2. $q_u = 1,2q_{DL} + \tau q_{LL} + 0,5q_{La} \pm 1,3q_W$

dimana: q_{DL} adalah beban mati
 q_{LL} adalah beban hidup platform
 q_{La} adalah beban hidup atap
 q_W adalah beban angin
 τ = 0,5 (bila $q_{LL} < 5kPa$)
= 1,0 (bila $q_{LL} \geq 5kPa$)

c. Kriteria Keamanan pada Konsep PBKT (Perancangan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor)

Kriteria keamanan pada konsep PBKT (Perancangan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor) ditetapkan dengan memenuhi pertidaksamaan:

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

$$N_u \leq \phi \cdot N_n$$

dimana: M_u adalah momen lentur ultimit
 V_u adalah gaya geser ultimit
 N_u adalah gaya normal ultimit
 M_n adalah momen lentur nominal
 V_n adalah gaya geser nominal
 N_n adalah gaya normal nominal
 ϕ adalah faktor reduksi kekuatan

Faktor reduksi kekuatan ϕ

Analisis lentur murni	: 0,90
Analisis normal tarik	: 0,90
Analisis normal tekan	: 0,90
Analisis lentur dengan normal tekan	: 0,90
Analisis geser	: 0,75

3.2.3 Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga

Untuk mendapatkan gaya dalam yang terjadi pada semua komponen struktur akibat kombinasi beban rencana, digunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*).

Metode Elemen Hingga adalah suatu prosedur numerik untuk menganalisis dan menyelesaikan sebuah persoalan mekanika teknik, dengan sifat material diasumsikan berperilaku elastik linear. Dalam metode ini, sistem struktur telah dibagi menjadi elemen – elemen satuan, di mana elemen yang satu dengan yang lainnya dihubungkan oleh titik nodal. Selanjutnya, derajat kebebasan (*degree of freedom*) titik – titik nodal ini sedapat mungkin dibuat kompatibel dan didefinisikan sesuai dengan kondisi batas dari sistem struktur yang sebenarnya.

Untuk mendapatkan model struktur yang mendekati kenyataan, maka elemen – elemen yang telah digabung tersebut secara mekanika harus memenuhi persyaratan – persyaratan berikut ini:

- Keseimbangan gaya luar dan gaya dalam
- Material struktur dan deformasinya harus memenuhi suatu hukum sifat bahan, yang dalam hal ini telah diasumsikan sebagai elastis linear
- Kontinuitas deformasi antara dua elemen yang bersebelahan pada satu titik nodal, atau dengan titik tumpuan (syarat batas), yang disebut sebagai syarat kompatibilitas

Dalam analisis ini, semua langkah – langkah perhitungan yang menggunakan Metode Elemen Hingga akan dilakukan menggunakan program analisis struktural *SAP2000*.

Keruntuhan tekuk yang terjadi pada bangunan pengeringan karet ini akan dimodelkan dengan dua analisis, yaitu analisis tekuk linear dan analisis tekuk nonlinear.

1. Analisis tekuk linear

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui *mode* dari keruntuhan tekuk yang terjadi secara linear. Analisis statik dari struktur merupakan solusi dari sebuah sistem persamaan linear, yaitu sebagai berikut:

$$\mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{r}$$

dimana: \mathbf{K} adalah matriks kekakuan struktur
 \mathbf{u} adalah vektor hasil perpindahan struktur
 \mathbf{r} adalah vektor pembebanan struktur

2. Analisis tekuk nonlinear

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui jejak keruntuhan struktur dari bangunan pengeringan karet. Analisis tekuk nonlinear ini sendiri terbagi ke dalam dua buah analisis, yaitu analisis nonlinear geometri dan analisis nonlinear material.

a. Analisis nonlinear geometri

Ketika sebuah beban bekerja pada sebuah struktur dan menghasilkan deformasi yang relatif kecil, maka hubungan antara beban dan deformasi adalah linear. Namun ketika beban yang bekerja pada struktur menghasilkan deformasi yang besar, maka hubungan antara beban dan deformasi adalah nonlinear. Perilaku nonlinear ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya:

- Efek P-delta

Ketika struktur menerima pembebanan yang besar, dan terjadi perubahan yang signifikan pada persamaan kesetimbangan pada saat awal dan setelah struktur berdeformasi, meskipun deformasi yang terjadi relatif kecil.

- Efek deformasi besar

Ketika struktur mengalami deformasi yang besar, maka persamaan tegangan – regangan yang biasa berlaku tidak dapat digunakan lagi, tetapi harus menggunakan persamaan kesetimbangan untuk geometri struktur yang sudah berdeformasi.

b. Analisis nonlinear material

Ketika sebuah struktur diberikan pembebanan melewati batas leleh materialnya, maka hubungan tegangan – regangan dari material struktur tersebut tidak lagi linear.

Karena pada program komputer *SAP2000* mengasumsikan bahwa regangan yang terjadi pada setiap *member*-nya bernilai relatif kecil (≈ 0), maka efek dari nonlinear material dan nonlinear geometri tidak berhubungan.

3.2.4 Pemodelan Keruntuhan Struktur Bangunan pada *SAP2000*

Di dalam memodelkan keruntuhan tekuk pada struktur bangunan, bangunan harus terlebih dahulu diberi sendi plastis, baik pada elemen struktur kolom maupun baloknya. Hal ini agar keruntuhan tekuk terjadi secara nonlinear material.

Setelah diberikan sendi plastis pada elemen struktur kolom dan baloknya, maka yang selanjutnya dilakukan adalah membuat *case* keruntuhan tekuknya. Untuk memodelkan keruntuhan tekuk secara nonlinear geometri, pada program komputer *SAP2000* dibuat *load case*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Load case Type:Static*
- *Analysis Type:Nonlinear*
- *Geometric Nonlinearity Parameters: P-Delta plus Large Displacements*
- *Initial Condition: Continue from State at End of Nonlinear Case: DEAD*
- *Loads Applied: 1,2SUPER DEAD + α .1,6LIVE*

(dengan nilai α berada dalam rentang $0 \leq \alpha \leq 1$)

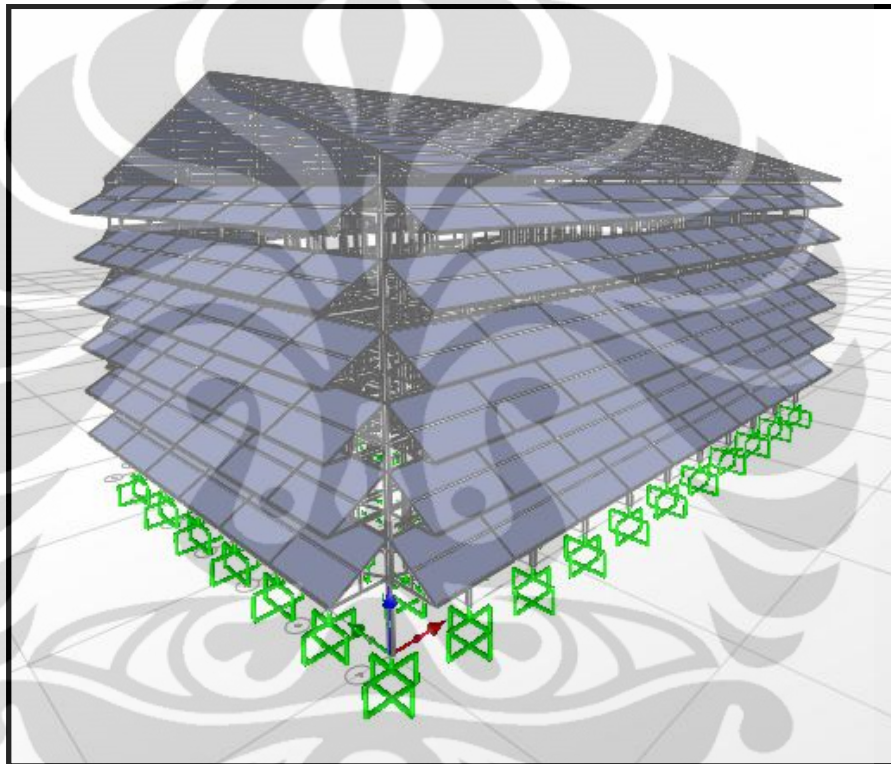
Sedangkan untuk memodelkan pola keruntuhan tekuknya, pada program komputer *SAP2000* dibuat *load case linear analysis buckling*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Load case Type:Buckling*
- *Stiffnes to Use: Continue from State at End of Nonlinear Case: DEAD*
- *Loads Applied: 1,2SUPER DEAD + 1,6LIVE*

BAB 4

ANALISIS HASIL PEMODELAN

Setelah memodelkan struktur bangunan dan kasus – kasus pembebanannya ke dalam program komputer *SAP2000*, maka berikut hasil – hasil yang didapatkannya:

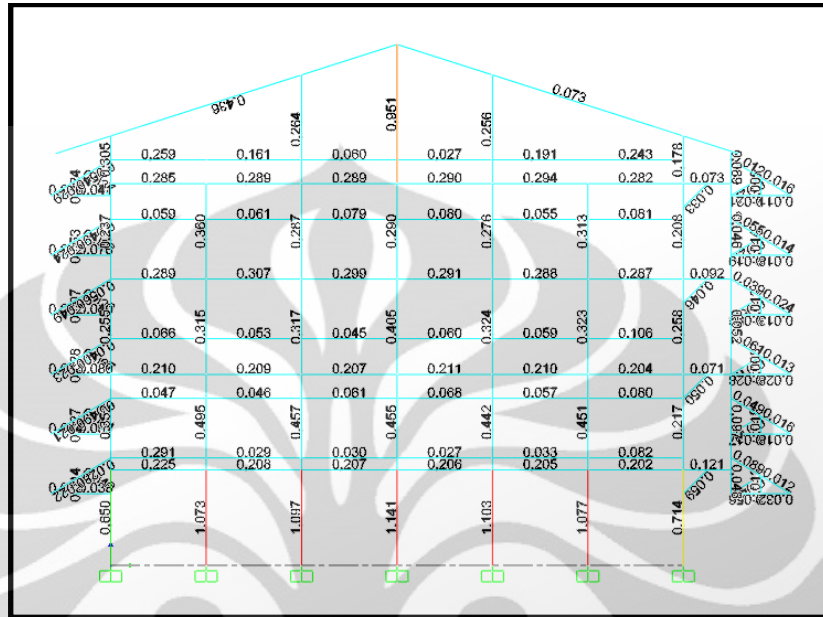


Gambar 4. 1 Layout Struktur Bangunan Pengeringan Karet

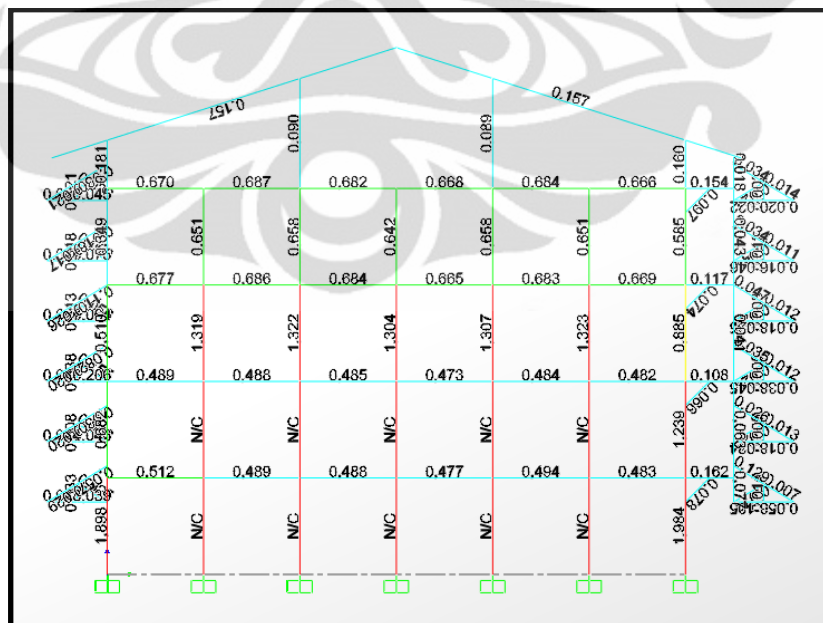
4.1 Analisa Hasil Pemodelan

4.1.1 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur

a. Hasil Pemodelan Model I – Pemodelan berdasarkan kondisi eksisting



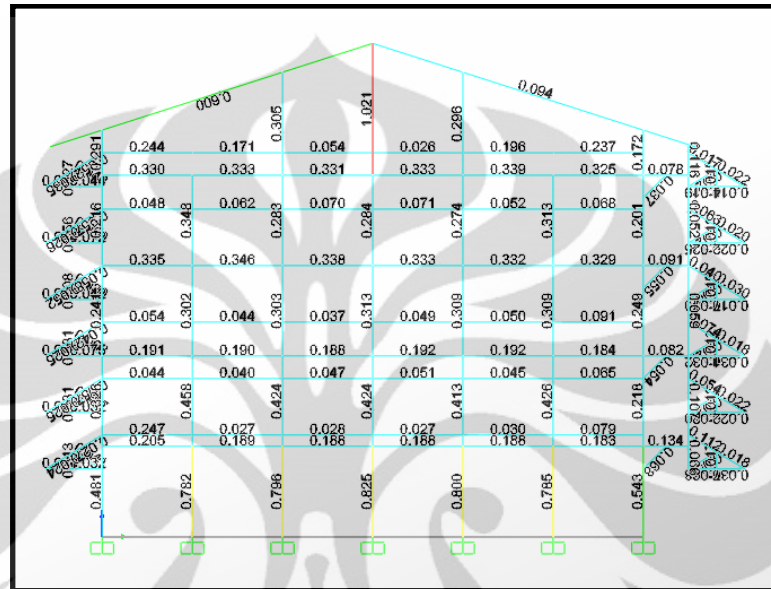
Gambar 4. 2 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan kondisi eksisting (tipikal untuk portal tepi)



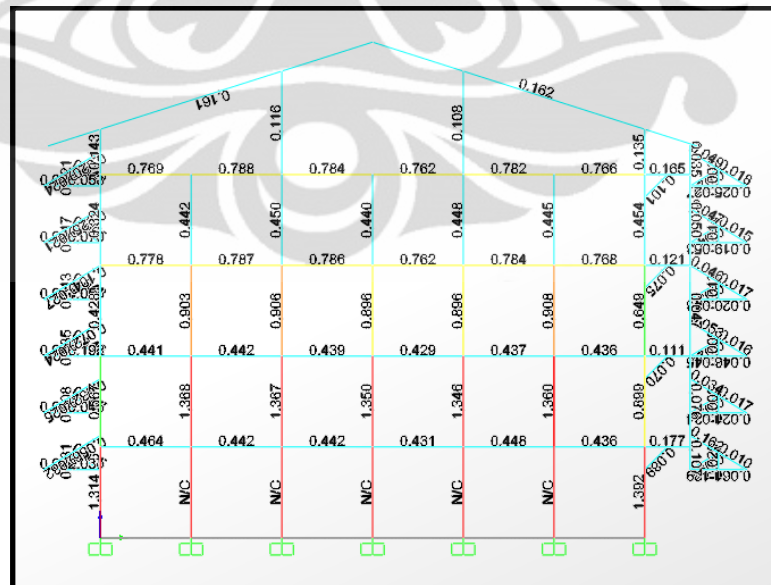
Gambar 4. 3 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan kondisi eksisting (tipikal untuk portal dalam)

Pada pemodelan struktur bangunan menurut kondisi eksistingnya, dapat dilihat bahwa baik pada portal maupun pada portal dalam telah terjadi *overstress*, dengan nilai *stress ratio*-nya yang terbilang besar.

b. Hasil Pemodelan Model II – Pemodelan berdasarkan *Shop Drawing*



Gambar 4. 4 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan *Shop Drawing* (tipikal untuk portal tepi)



Gambar 4. 5 Rasio gaya dalam ultimit terhadap kapasitas elemen struktur berdasarkan IMB 2010 (tipikal untuk portal dalam)

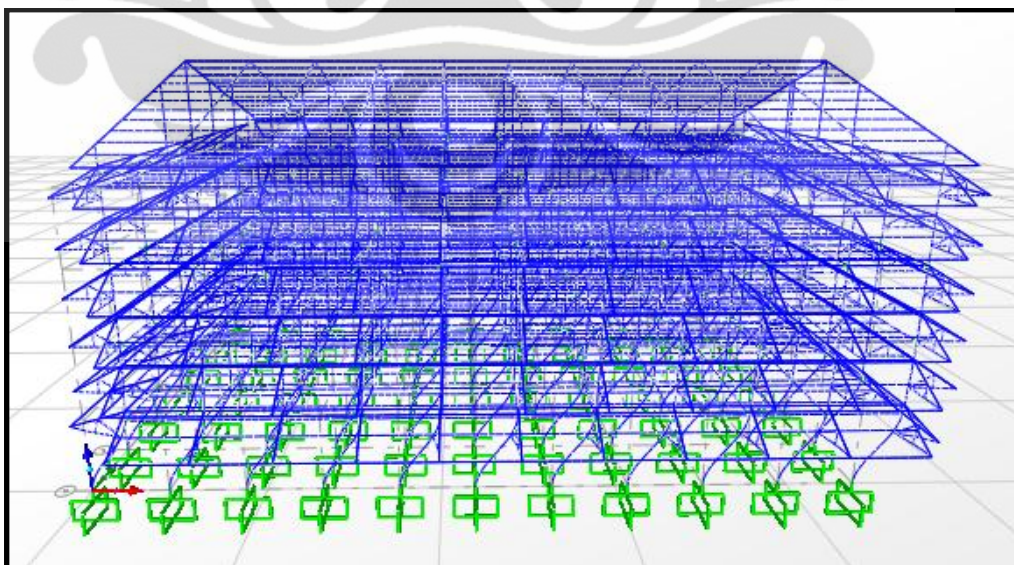


Gambar 4. 7 Foto kegagalan tekuk pada kolom pinggir untuk portal dalam

4.1.2 Mode keruntuhan tekuk yang terjadi

Mode keruntuhan tekuk dicari untuk mengetahui pola keruntuhan tekuk seperti apa saja yang mungkin terjadi pada suatu struktur bangunan.

a. Hasil Pemodelan Model I – Pemodelan Berdasarkan *Shop Drawing*



Gambar 4. 8 Mode I dari keruntuhan tekuk linear struktur bangunan pada kondisi eksisiting

Dan berikut merupakan faktor tekuk untuk model 1, yaitu sebagai berikut:

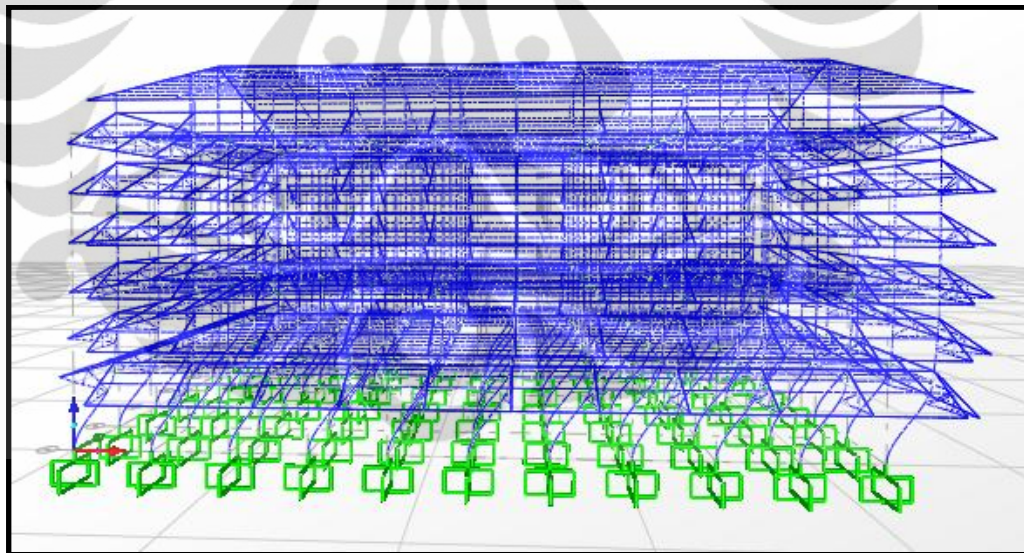
Tabel 4. 1 Faktor tekuk model 1 dari program komputer SAP2000

OutputCase	StepType	StepNum	ScaleFactor
Text	Text	Unitless	Unitless
Buckling Linear	Mode	1	0,728849
Buckling Linear	Mode	2	1,052367
Buckling Linear	Mode	3	1,328281
Buckling Linear	Mode	4	1,639059
Buckling Linear	Mode	5	2,062707
Buckling Linear	Mode	6	3,012972

Jadi untuk terjadi Mode I diperlukan pembebanan sebesar:

$$0,728849(1,2DL + 1,6LL)$$

b. Hasil Pemodelan Model II – Pemodelan berdasarkan kondisi eksisting



Gambar 4. 9 Mode I dari keruntuhan tekuk linear struktur bangunan menurut *shop drawing*

Dan berikut merupakan faktor tekuk untuk model 2, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Faktor tekuk model 1 dari program komputer SAP2000

OutputCase	StepType	StepNum	ScaleFactor
Text	Text	Unitless	Unitless
Buckling Linear	Mode	1	1,076748
Buckling Linear	Mode	2	1,488754
Buckling Linear	Mode	3	1,829297
Buckling Linear	Mode	4	2,288333
Buckling Linear	Mode	5	2,768637
Buckling Linear	Mode	6	3,857587

Jadi untuk terjadi Mode I diperlukan pembebanan sebesar:

$$1,076748(1,2DL + 1,6LL)$$

Baik pada model 1 maupun model 2, keruntuhan tekuk yang terjadi pada pada kolom – kolom lantai dasar bangunan pengeringan karet ini terjadi pada arah sumbu lemahnya.

Dan berikut merupakan kondisi yang terjadi di lapangan:



Gambar 4. 10 Foto keruntuhan kolom pada lantai dasar



Gambar 4. 11 Foto keruntuhan kolom pada lantai dasar



Gambar 4. 12 Foto keruntuhan kolom pada lantai dasar

Dari hal ini dapat diketahui bahwa kegagalan yang terjadi pada bangunan pengeringan karet ini adalah keruntuhan tekuk pada arah sumbu lemahnya, sama seperti yang dimodelkan.

4.1.3 Keruntuhan tekuk yang terjadi

Keruntuhan tekuk yang terjadi akan diindikasikan oleh status dari sendi plastis yang diberikan kepada kolom – kolom struktur bangunan pengeringan karet tersebut. Berikut merupakan pemetaan kolom – kolom lantai dasar pada struktur bangunan pengeringan karet:

y7	37	79	121	163	205	247	289	331	373	415	457
y6	31	73	115	157	199	241	283	325	367	409	451
y5	25	67	109	151	193	235	277	319	361	403	445
y4	19	61	103	145	187	229	271	313	355	397	439
y3	13	55	97	139	181	223	265	307	349	391	433
y2	7	49	91	133	175	217	259	301	343	385	427
y1	1	43	85	127	169	211	253	295	337	379	421
PORTAL	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11

Gambar 4. 13 Pemetaan kolom – kolom lantai dasar struktur bangunan pengeringan karet

Pada setiap kolom, diberikan sendi plastis sebanyak dua buah sejarak 5% dari ujung – ujung kolomnya. Karena panjang tiap kolomnya adalah tipikal, yaitu sebesar 4 m, maka letak sendi plastis pertama (H1) berjarak 0,2 m dari pangkal kolom, dan sendi plastis kedua (H2) berjarak 3,8 m dari pangkal kolom. Berikut merupakan pemetaan sendi plastis pada kolom, agar memudahkan di dalam melakukan analisis untuk ke depannya:

y7	37H2	79H2	121H2	163H2	205H2	247H2	289H2	331H2	373H2	415H2	457H2
	37H1	79H1	121H1	163H1	205H1	247H1	289H1	331H1	373H1	415H1	457H1
y6	31H2	73H2	115H2	157H2	199H2	241H2	283H2	325H2	367H2	409H2	451H2
	31H1	73H1	115H1	157H1	199H1	241H1	283H1	325H1	367H1	409H1	451H1
y5	25H2	67H2	109H2	151H2	193H2	235H2	277H2	319H2	361H2	403H2	445H2
	25H1	67H1	109H1	151H1	193H1	235H1	277H1	319H1	361H1	403H1	445H1
y4	19H2	61H2	103H2	145H2	187H2	229H2	271H2	313H2	355H2	397H2	439H2
	19H1	61H1	103H1	145H1	187H1	229H1	271H1	313H1	355H1	397H1	439H1
y3	13H2	55H2	97H2	139H2	181H2	223H2	265H2	307H2	349H2	391H2	433H2
	13H1	55H1	97H1	139H1	181H1	223H1	265H1	307H1	349H1	391H1	433H1
y2	7H2	49H2	91H2	133H2	175H2	217H2	259H2	301H2	343H2	385H2	427H2
	7H1	49H1	91H1	133H1	175H1	217H1	259H1	301H1	343H1	385H1	427H1
y1	1H2	43H2	85H2	127H2	169H2	211H2	253H2	295H2	337H2	379H2	421H2
	1H1	43H1	85H1	127H1	169H1	211H1	253H1	295H1	337H1	379H1	421H1
PORTAL	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11

Gambar 4. 14 Pemetaan sendi plastis pada kolom lantai dasar

a. Hasil Pemodelan Model I – Pemodelan berdasarkan kondisi eksisting

Berikut, merupakan proses keruntuhan tekuk struktur bangunan pengeringan karet ini:

i. Tahap I – plastifikasi

y7											
y6											
y5											
y4											
y3											
y2											
y1											
PORTAL	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11

Gambar 4. 15 Mulai terjadi *yielding* pada portal x2 dan x10

Pada tahap ini, sendi plastis pada sebagian besar kolom lantai dasar pada portal x2 dan x10 mengalami tahap plastifikasi, atau dikenal juga dengan istilah *yielding*. Tahapan ini terjadi ketika kolom – kolom lantai dasar menerima gaya aksial ultimit sebesar kurang lebih 220 KN, atau besarnya kurang lebih sebesar 56,4% dari total pembebanan ultimit.

ii. Tahap II – *Immediate Occupancy*

y7											
y6											
y5											
y4											
y3											
y2											
y1											
PORTAL	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11

Gambar 4. 16 Mulai terjadi sendi plastis pada tahap *Immediate Occupancy*

Pada tahap ini, sebagian besar sendi plastis pada kolom lantai dasar memasuki tahapan *immediate occupancy*, dan ada beberapa yang memasuki tahapan *yielding*. Pada tahapan *yielding*, sendi plastis belum mengalami kerusakan apapun dan deformasi yang terjadi masih bersifat elastis, sementara pada tahapan *immediate occupancy*, sendi plastis mengalami kerusakan yang minimal, namun masih relatif kecil.

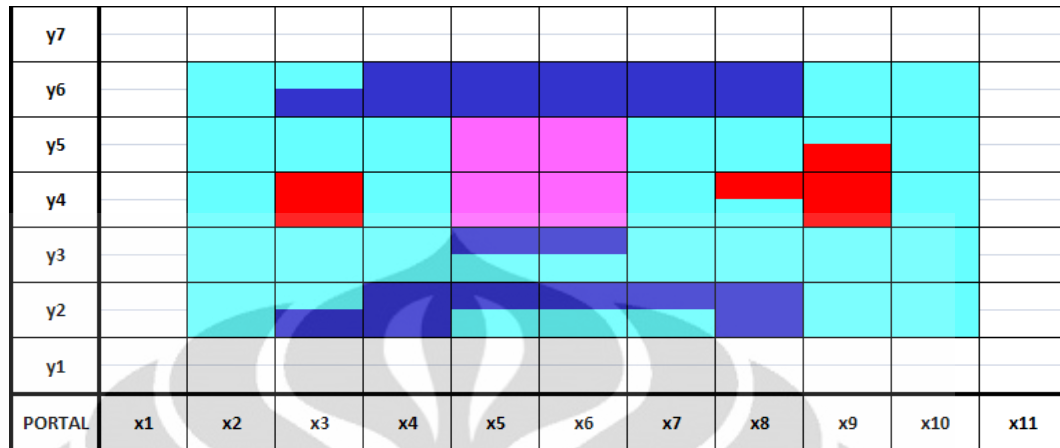
Pada kolom dengan nomor frame 187, 193, 229, dan 235 meskipun posisinya relatif berada di tengah, namun tidak memasuki tahapan *yielding* dikarenakan pada kolom – kolom tersebut dilewati oleh jalur lift.

iii. Tahap III – *Life Safety dan Collapse*

y7												
y6												
y5												
y4												
y3												
y2												
y1												
PORTAL	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	

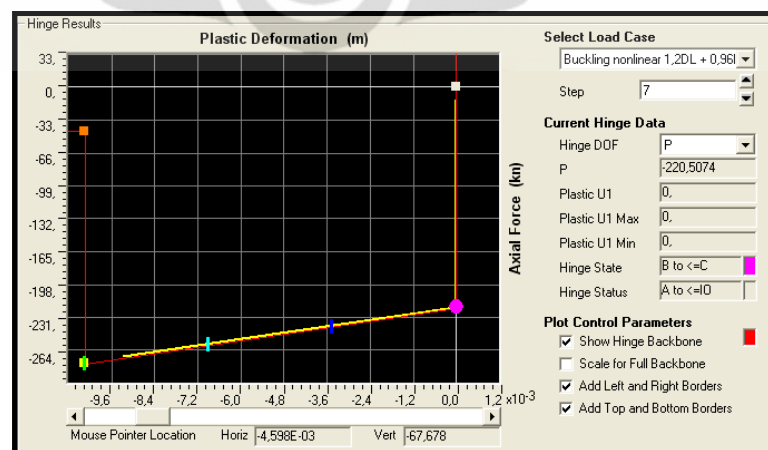
Gambar 4. 17 Mulai terjadi sendi plastis pada tahap *Life Safety dan Collapse*

Pada tahapan ini, sebagian besar sendi plastis pada kolom lantai dasar memasuki tahapan *life safety* dan ada beberapa sendi plastis yang mengalami *collapse*, yaitu sendi plastis dengan nomor 103H2, 103H1, 313H2, 355H2, 355H1, dan 361H1. Beberapa sendi plastis memasuki tahapan *immediate occupancy*, dan kolom – kolom yang dilewati oleh jalur lift sudah mulai memasuki tahapan *yielding*. Pada tahapan *life safety*, sendi plastis mengalami kerusakan yang relatif besar, sementara pada tahapan *collapse*, sendi plastis mengalami keruntuhan

iv. Tahap IV – *Total Failure*Gambar 4. 18 Terjadinya *total failure* pada kolom 103, 313, 355, dan 361

Pada tahapan ini, semua sendi plastis kolom lantai dasar (yang merupakan kolom dalam) telah memasuki tahapan *yielding*, dan beberapa sendi plastis dari kolom – kolom lantai dasar telah memasuki tahapan *total failure* yaitu sendi plastis dengan nomor 103H2, 103H1, 313H2, 355H2, 355H1, dan 361H1. Jadi dari sini bisa diketahui, bahwa kolom yang gagal terlebih dahulu adalah kolom dengan nomor frame 103, 313, 355, dan 361. Pada tahapan ini, besarnya pembebanan yang diberikan adalah $1,2SUPER DEAD + \alpha,1,6LIVE$; dengan $\alpha = 0,6$.

Lalu dilakukan pengecekan titik leleh dan titik runtuh dari setiap sendi plastis yang mengalami keruntuhan pertama kali.



Gambar 4. 19 Contoh pembacaan sendi plastis yang terjadi pada kolom

Dan berikut merupakan tabulasi besarnya gaya aksial yang diterima oleh sendi plastis pada kolom dengan tahapan – tahapan yang terjadi pada sendi plastis tersebut:

Tabel 4. 3 Tabulasi besarnya gaya aksial pada sendi plastis dengan tahapan – tahapan yang terjadi pada sendi plastis

Kolom	Status Sendi Plastis	B	IO	LS	C
	Sendi Plastis	P (KN)	P (KN)	P (KN)	P (KN)
103	103H2	220,64	239,18	257,71	279,83
	103H1	221,33	239,87	258,41	279,52
313	313H2	220,93	239,95	258,97	275,75
	313H1	-	-	-	-
355	355H2	219,55	239,15	256,44	275,62
	355H1	220,71	240,30	257,79	276,31
361	361H2	-	-	-	-
	361H1	220,93	239,95	258,97	276,86
Rata-rata		220,68	239,73	258,05	277,32

Keterangan:

- B – *yielding*
- IO – *immediate occupancy*
- LS – *life safety*
- C – *collapse*

Dari sini bisa diketahui, bahwa keruntuhan tekuk terjadi pada struktur bangunan pengeringan karet ini ketika besarnya pembebanan lembaran karet (beban hidup) sebesar 60%.

b. Hasil Pemodelan Model II – Pemodelan Berdasarkan *Shop Drawing*

Berikut, merupakan proses keruntuhan tekuk struktur bangunan pengeringan karet ini:

i. Tahap I – plastifikasi

y7											
y6											
y5											
y4											
y3											
y2											
y1											
PORTAL	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11

Gambar 4. 20 Mulai terjadi *yielding* pada portal x2 dan x10

Pada tahap ini, sendi plastis pada sebagian besar kolom lantai dasar pada portal x2 dan x10 mengalami tahap plastifikasi, atau dikenal juga dengan istilah *yielding*. Tahapan ini terjadi ketika kolom – kolom lantai dasar menerima gaya aksial ultimit sebesar kurang lebih 330 KN atau besarnya kurang lebih sebesar 84,6% dari total pembebanan ultimit.

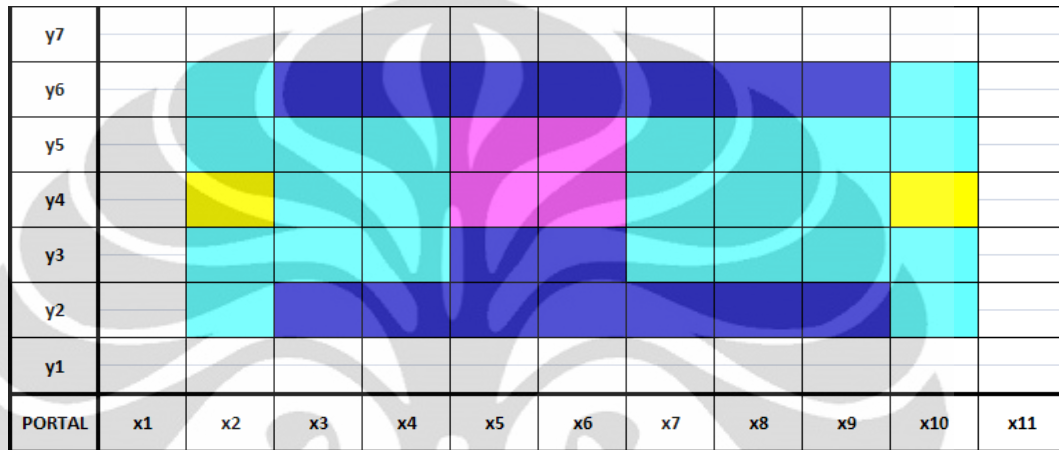
ii. Tahap II – *Immediate Occupancy*

y7											
y6											
y5											
y4											
y3											
y2											
y1											
PORTAL	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11

Gambar 4. 21 Mulai terjadi sendi plastis pada tahap *Immediate Occupancy*

Pada tahap ini, sebagian besar sendi plastis pada kolom lantai dasar memasuki tahapan *Immediate Occupancy*, dan ada beberapa yang memasuki tahapan *yielding*. Pada kolom dengan nomor frame 187, 193, 229, dan 235 meskipun posisinya relatif berada di tengah, namun tidak memasuki tahapan *yielding* dikarenakan pada kolom – kolom tersebut dilewati oleh jalur lift.

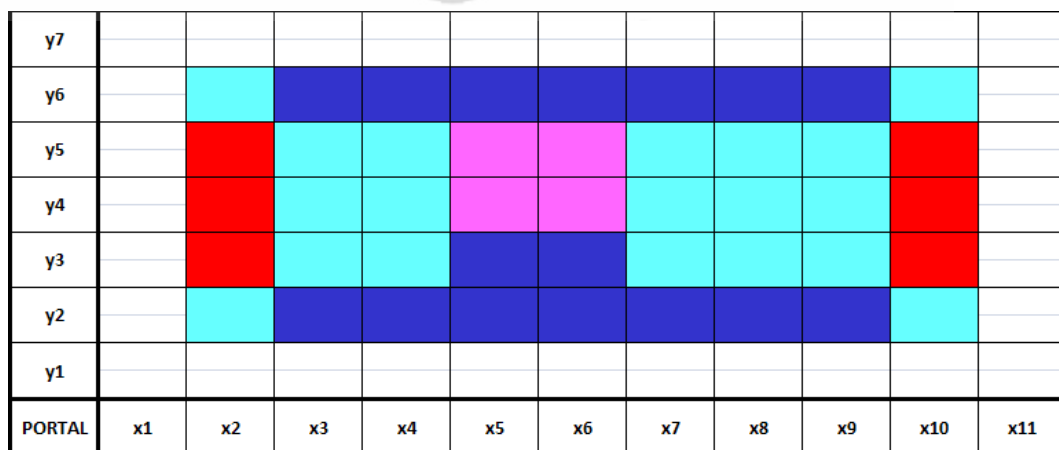
iii. Tahap III – *Life Safety* dan *Collapse*



Gambar 4. 22 Terjadinya tahap *life safety* pada kolom 55, 61, 67, 391, 397, dan 403.

Pada tahapan ini, sebagian besar sendi plastis pada kolom lantai dasar memasuki tahapan *life safety* dan ada beberapa sendi plastis yang mengalami *collapse*, yaitu sendi plastis dengan nomor 61H2, 61H1, 397H2 dan 397H1. Beberapa sendi plastis memasuki tahapan *immediate occupancy*, dan kolom – kolom yang dilewati oleh jalur lift sudah mulai memasuki tahapan *yielding*.

iv. Tahap IV – *Total Failure*



Gambar 4. 23 Terjadinya *total failure* pada kolom 55, 61, 67, 381, 397, dan 403

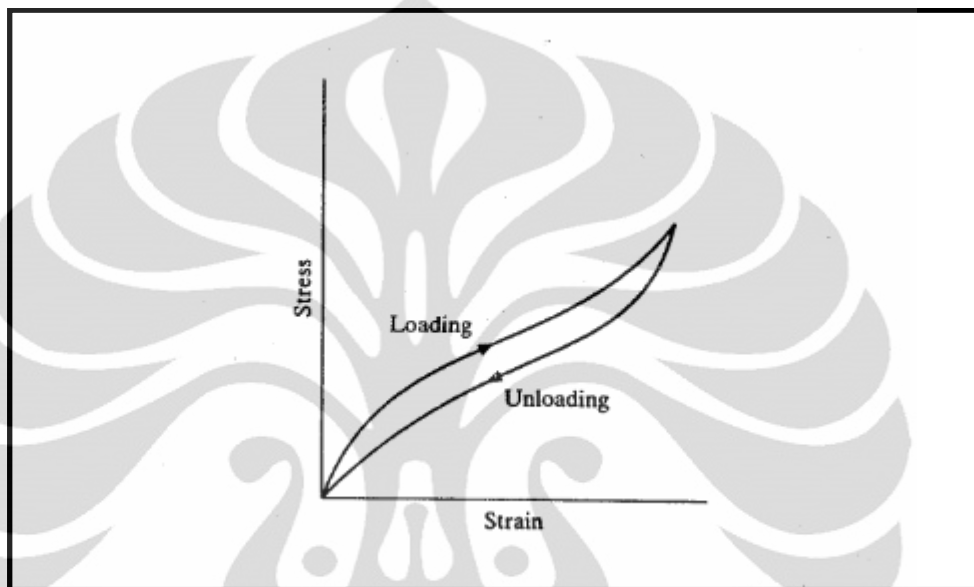
Pada tahapan ini, semua sendi plastis kolom lantai dasar (yang merupakan kolom dalam) telah memasuki tahapan *yielding*, dan beberapa sendi plastis dari kolom – kolom lantai dasar telah memasuki tahapan *total failure* yaitu sendi plastis dengan nomor 55H2, 55H1, 61H2, 61H1, 67H2, 67H1, 391H2, 391H1, 397H2, 397H1, 403H2 dan 403H1. Jadi dari sini bisa diketahui, bahwa kolom yang gagal terlebih dahulu adalah kolom dengan nomor frame 55, 61, 67, 391, 397 dan 403. Pada tahapan ini, besarnya pembebanan yang diberikan adalah $1,2SUPER DEAD + \alpha.1,6LIVE$; dengan $\alpha = 0,9$.

Dan berikut merupakan tabulasi besarnya gaya aksial yang diterima oleh sendi plastis pada kolom dengan tahapan – tahapan yang terjadi pada sendi plastis tersebut:

Tabel 4. 4 Tabulasi besarnya gaya aksial pada sendi plastis dengan tahapan – tahapan yang terjadi pada sendi plastis

Kolom	Status Sendi Plastis	B	IO	LS	C
	Sendi Plastis	P (KN)	P (KN)	P (KN)	P (KN)
55	55H2	330,73	357,03	381,27	414,83
	55H1	331,79	357,03	385,00	414,83
61	61H2	330,98	357,00	385,00	413,70
	61H1	332,01	357,03	383,13	414,73
67	67H2	331,52	357,03	385,00	414,83
	67H1	332,55	358,90	386,86	416,69
391	391H2	330,76	357,03	385,00	412,96
	391H1	331,79	357,03	386,86	414,83
397	397H2	330,24	357,03	385,00	412,57
	397H1	331,27	355,17	383,13	413,60
403	403H2	330,79	357,03	385,00	412,97
	403H1	331,82	358,90	385,00	412,96
Rata-rata		331,35	357,18	384,69	414,13

Sehingga dapat disimpulkan, pada pemodelan struktur bangunan menurut *shop drawing*-nya, bangunan pengeringan karet ini tetap mengalami keruntuhan. Dan hampir pada semua kolom lantai dasarnya telah melewati batas pembebanan elastisnya, terutama pada kolom dengan nomor frame. Hal ini berakibat terjadinya pengurangan kapasitas kekuatan kolom sewaktu diberikan pembebanan di hari – hari berikutnya.



Gambar 4. 24 Kurva hubungan tegangan regangan yang tidak linear

Dan sudah tentu, korosi yang terjadi pada elemen – elemen struktur bangunan pengeringan karet ini, khususnya elemen struktur balok dan kolom, turut memiliki andil yang besar di dalam keruntuhan tekuk struktur bangunan ini.

Berikut merupakan rangkuman dari hasil pemodelan model 1 (menurut kondisi eksisting) dan model 2 (menurut *shop drawing*):

Tabel 4. 5 Tabulasi hasil pemodelan model 1 dan model 2

Status Sendi Plastis	Gaya Aksial P (KN)		$\eta\%$
	Model 1	Model 2	
B	221	331	33,23
IO	240	357	32,77
LS	258	385	32,99
C	277	414	33,09
Rata – rata			33

Dari tabel di atas bisa disimpulkan, bahwa pengaruh korosi terhadap kapasitas kekuatan struktur kolom yaitu mengurangi sebesar $\pm 33\%$.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan:

- Kegagalan yang terjadi pada struktur bangunan pengeringan karet yang dianalisis di dalam penelitian ini adalah benar merupakan kegagalan tekuk yang terjadi pada kolom – kolomnya.
- Kegagalan yang terjadi disebabkan oleh pembebanan pada struktur bangunan yang melewati batas elastisnya, yang menyebabkan kapasitas kekuatan struktur kolom berkurang untuk jangka waktu ke depannya.
- Keruntuhan tekuk yang terjadi pada bangunan pengeringan karet ini juga disebabkan oleh korosi yang terjadi pada elemen – elemen strukturnya, terutama pada elemen kolom dan balok.
- Pengaruh korosi terhadap kapasitas kekuatan struktur kolom yaitu mengurangi sebesar $\pm 33\%$.

5.2 Saran

- Melalui penelitian ini, dapat diketahui bahwa keruntuhan tekuk terjadi secara tiba – tiba. Oleh karena itu, di dalam merencanakan suatu struktur bangunan, sebaiknya memperhatikan faktor – faktor yang dapat menyebabkan suatu bangunan mengalami kegagalan struktur, khususnya adalah kegagalan tekuk.
- Di dalam merencanakan pembebanan sebuah struktur bangunan, seharusnya tidak melewati batas pembebanan elastisnya. Karena meskipun struktur bangunan dapat bertahan, namun untuk jangka panjang kapasitas kekuatan strukturnya akan berkurang, yang menyebabkan dapat terjadinya keruntuhan tekuk di kemudian hari.

DAFTAR REFERENSI

Hibbeler, R.C., “Mechanics of Materials: Fifth Edition”, Pretince Hall Inc, New Jersey, 1995

Setiawan, Agus., “Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)”, Erlangga, Jakarta, 2008

Orbison, J.G., “Nonlinear Static Analysis of Three Dimensional Steel Frames”, Thesis, Cornell University, 1982

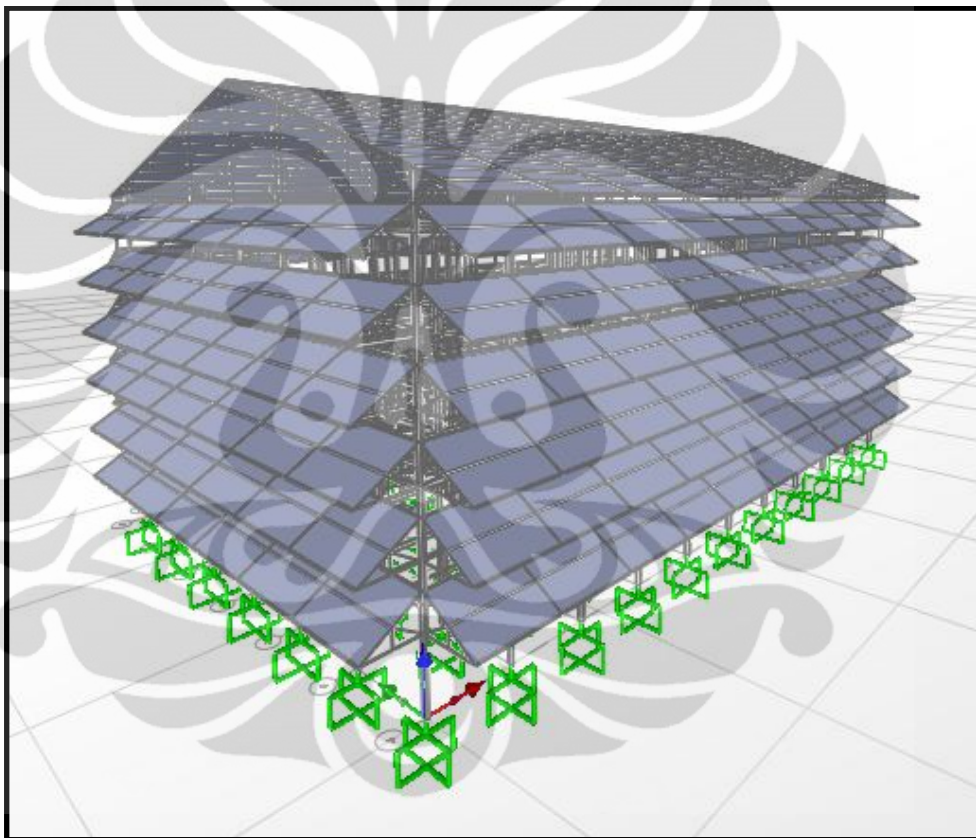
Standar SNI 03-1729-2002, “Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung”, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung, 2002

Standar SKBI – 1.3.53.1987, “Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung”, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung, 1987

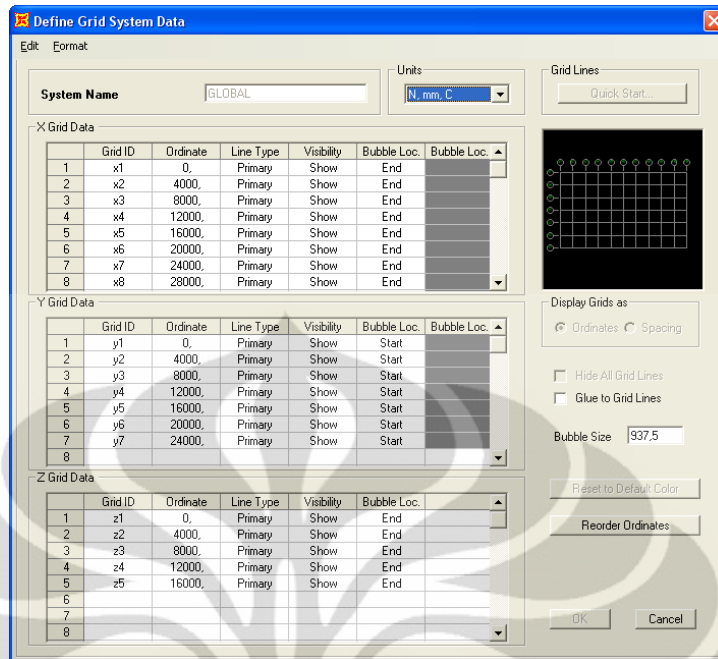
Dewobroto, Wiryanto., “Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000”, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2007

Tutorial Pemodelan Keruntuhan Tekuk Struktur Bangunan Pengeringan Karet dengan SAP2000

Berikut ini adalah tutorial pemodelan untuk mensimulasikan dan menganalisis keruntuhan tekuk struktur bangunan pengeringan karet dengan aplikasi perangkat lunak SAP2000. Analisis yang digunakan adalah dengan analisis nonlinear statik. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :



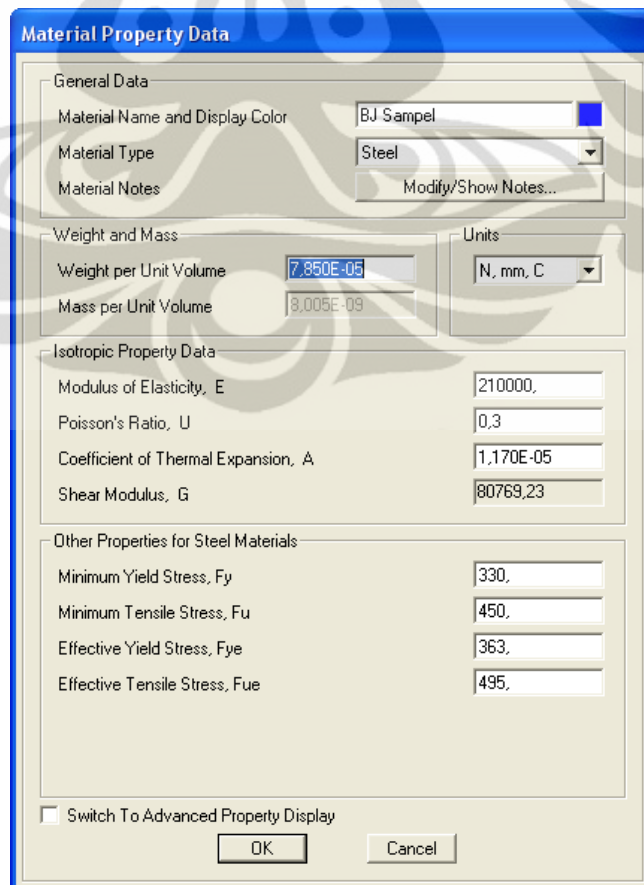
1. Membuat model baru, dengan langkah – langkah sebagai berikut:
Menu **File > New Model > 3D Frames**, lalu pilih kotak check box **Use Custom Grid Spacing and Locate Origin**, lalu pilih **Edit Grid...**
2. Masukkan ukuran dari dimensi bangunan yang telah diketahui, yaitu sebagai berikut:



Jika sudah, pilih **OK**.

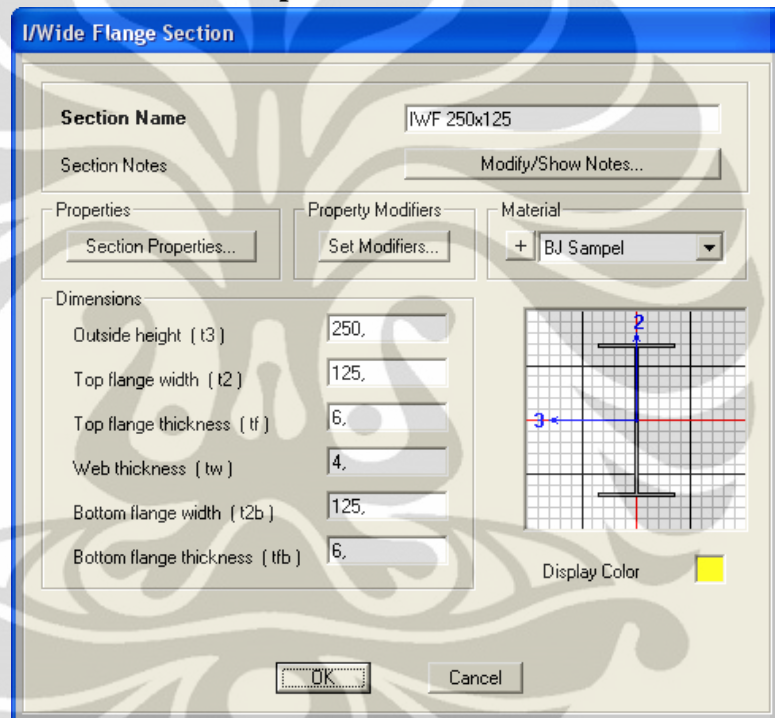
3. Mendefinisikan material yang digunakan.

Menu **Define > Materials... > Add New Material**

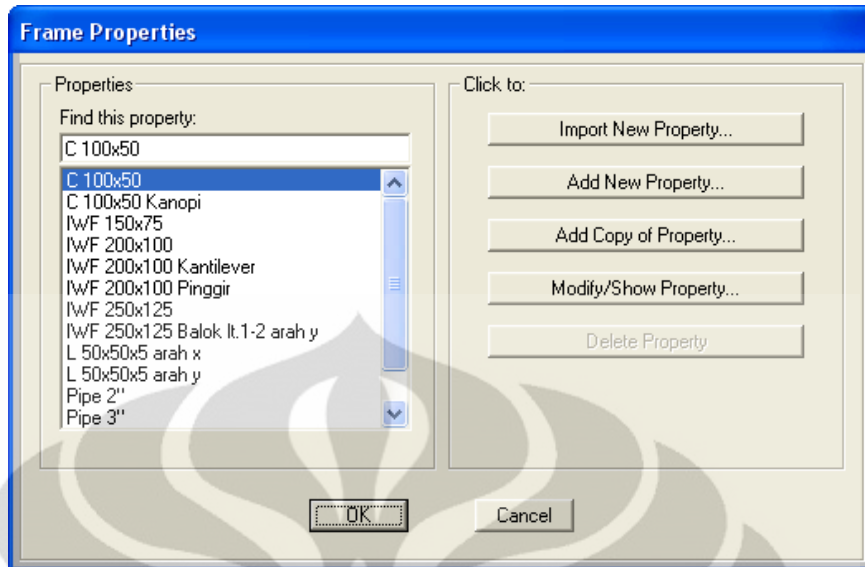


Karena untuk pemodelan struktur bangunan pengeringan karet ini menggunakan dua buah parameter, yaitu pemodelan berdasarkan kondisi eksisting dan pemodelan berdasarkan *shop drawing*, maka ada dua buah material yang didefinisikan, yaitu BJ Sampel untuk pemodelan berdasarkan kondisi eksisting dan BJ 37 untuk pemodelan berdasarkan *shop drawing*. Dan ada satu buah lagi material tambahan yang harus didefinisikan, yaitu zinc alumunium, untuk material atap.

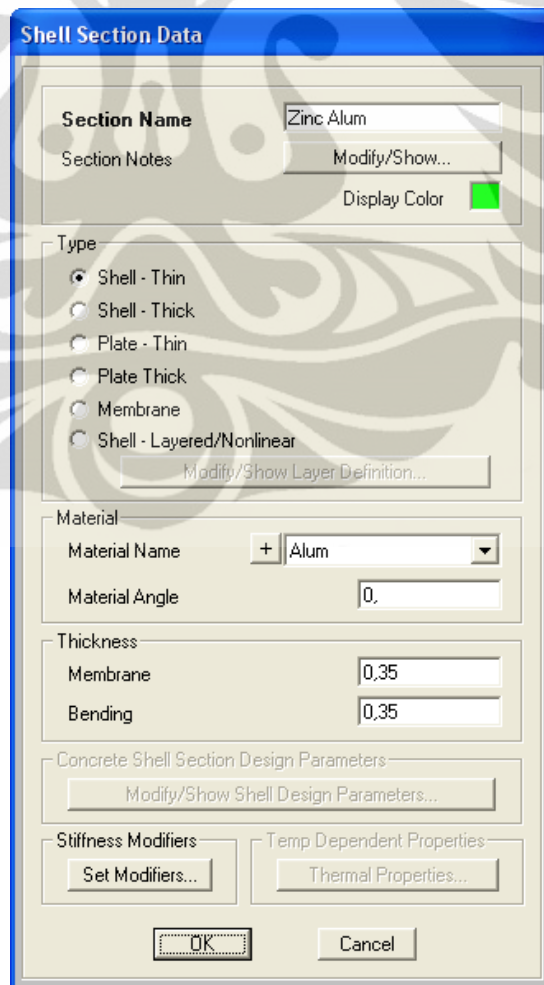
4. Mendefinisikan frame section untuk elemen – elemen struktur
Menu **Define > Section Properties > Frame Sections...**



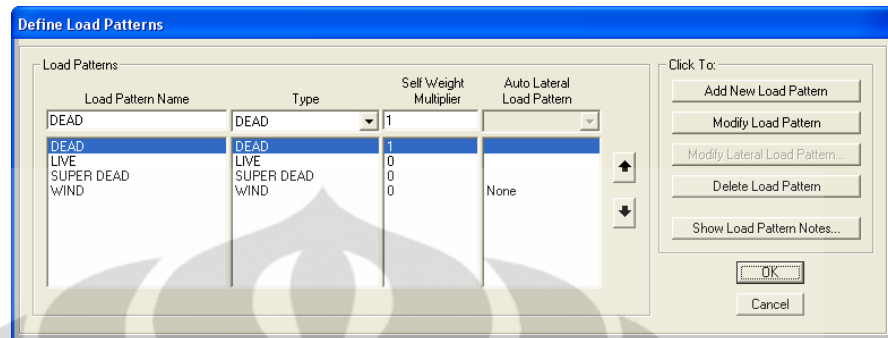
Dalam hal profil penampang ini juga terdapat dua buah parameter, yaitu pemodelan berdasarkan kondisi eksisting dimana profil penampang yang diinput merupakan yang sudah mengalami korosi dan pemodelan berdasarkan *shop drawing* dimana profil penampang yang diinput belum mengalami korosi. Pada input profil penampang yang sudah mengalami korosi, Material yang digunakan adalah BJ Sampel. Sementara untuk input penampang yang belum mengalami korosi, Material yang digunakan adalah BJ 37.



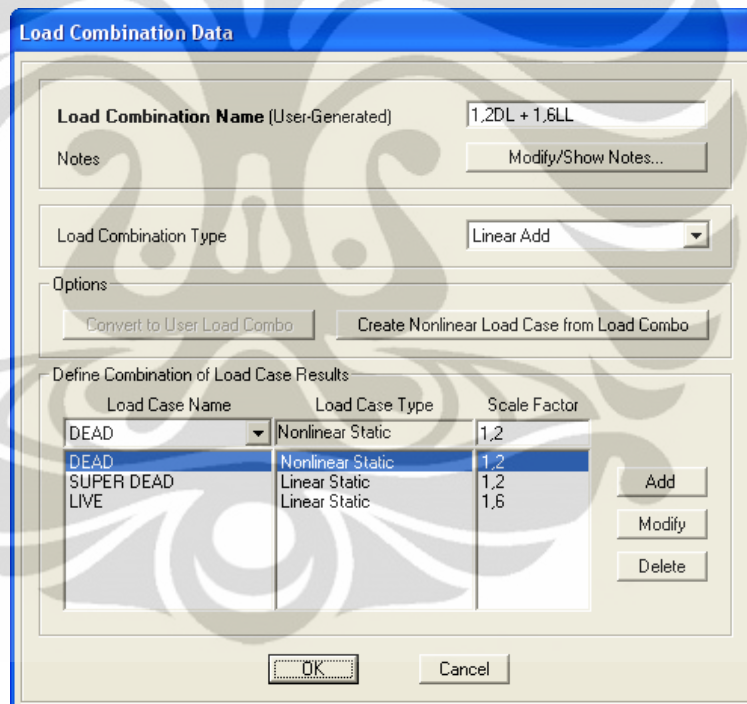
5. Mendefinisikan area section untuk atap
 Menu **Define > Section Properties > Area Sections...**



6. Mendefinisikan Load Patterns
Menu **Define > Load Patterns...**

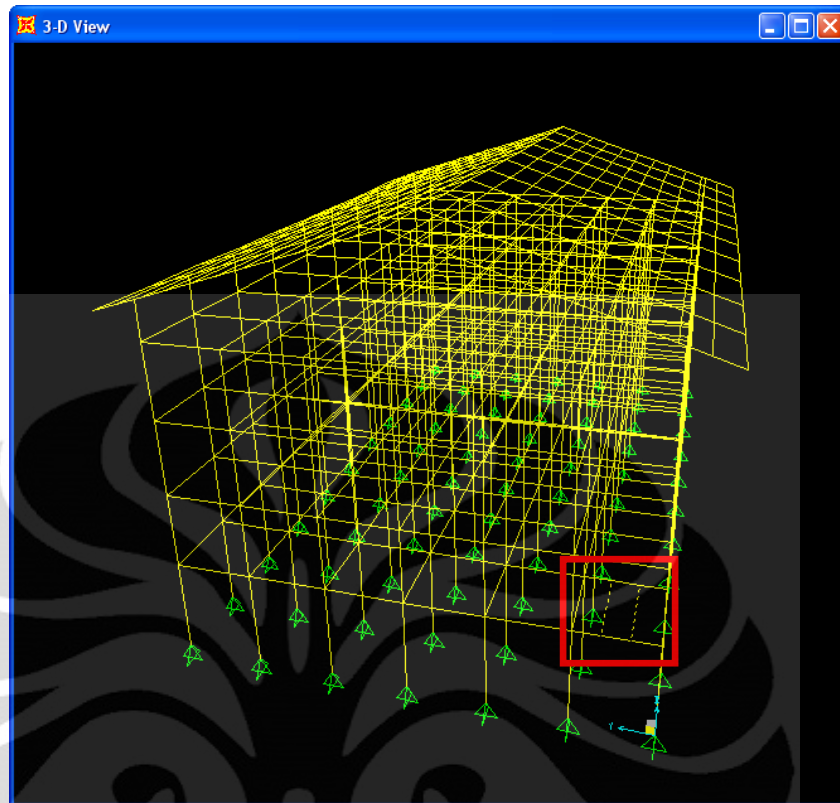


7. Mendefinisikan Load Combinations
Menu **Define > Load Combinations...**



8. Cara memberikan pipa 3” (untuk diberikan beban) pada balok.

Yang pertama dilakukan ada memilih dua frame balok dalam arah sumbu x, yang letaknya berdampingan. Lalu kedua frame tersebut di pisahkan dengan menu **Edit > Edit Lines > Divide Frames...** Lalu divide frame balok tersebut menjadi 3 bagian. Setelah selesai, berikan frame pipa 3” pada joint – joint yang terdapat pada kedua frame balok tersebut, seperti pada gambar.

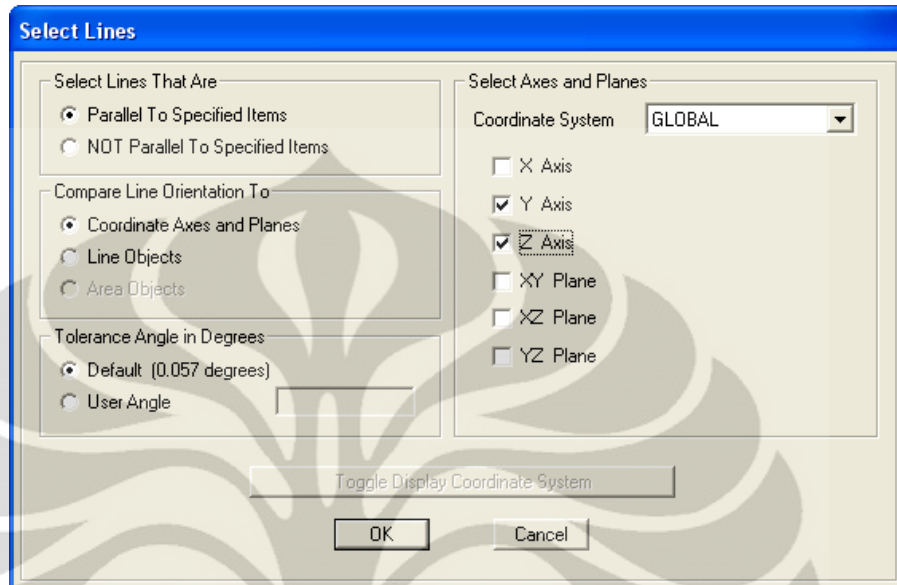


Lalu untuk memperbanyak pipa 3” tersebut, gunakan menu **Edit > Replicate...** Perbanyak pipa 3” tersebut dalam arah x, y, dan z. Untuk arah sumbu x, select terlebih dahulu frame pipa 3” yang akan diperbanyak. Lalu pada menu **Replicate**, isi untuk besarnya **increments dx: 4000** dan **increment data: 5**. Untuk memperbanyak frame pipa 3” dalam arah sumbu y, lakukan hal yang sama, namun isi untuk besarnya **increments dy: 4000** dan **increment data: 9**. Dan terakhir, untuk memperbanyak frame pipa 3” dalam arah sumbu z, isi untuk besarnya **increments dz: 4000** dan **increment data: 3**.

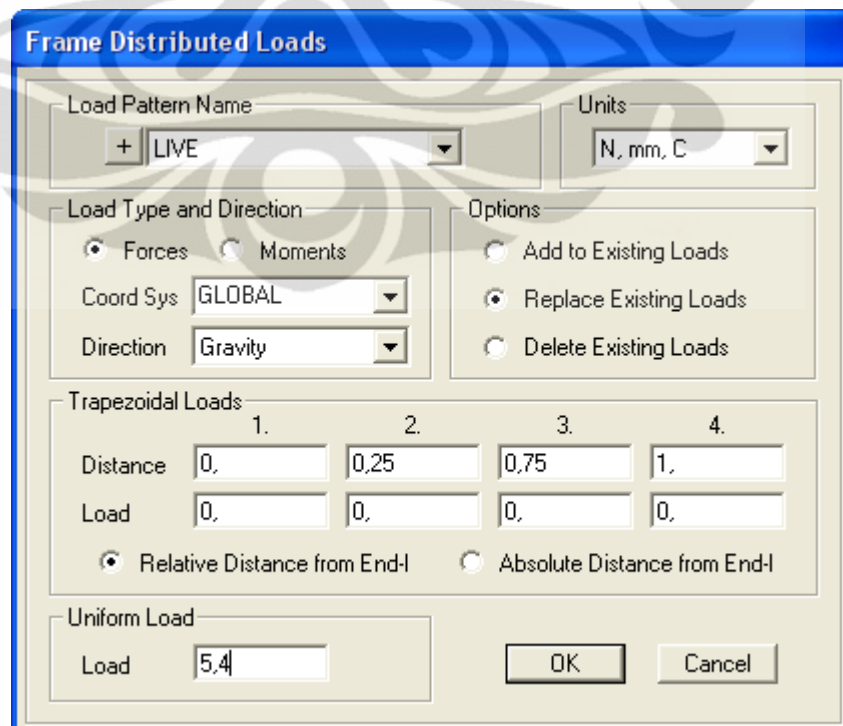
9. Cara Menginput Pembebanan

Pembebanan akan diberikan pada pipa 3” dan balok dalam arah sumbu x. Jadi yang pertama dilakukan ada melakukan pemilihan frame pipa 3” dan balok sebagai berikut: **Select > Select > Properties > Frame Sections...** Pilih **pipa 3”** dan **IWF 200x100**. Karena frame yang diinginkan hanya dalam arah sumbu x saja, maka lakukan perintah sebagai berikut: **Select >**

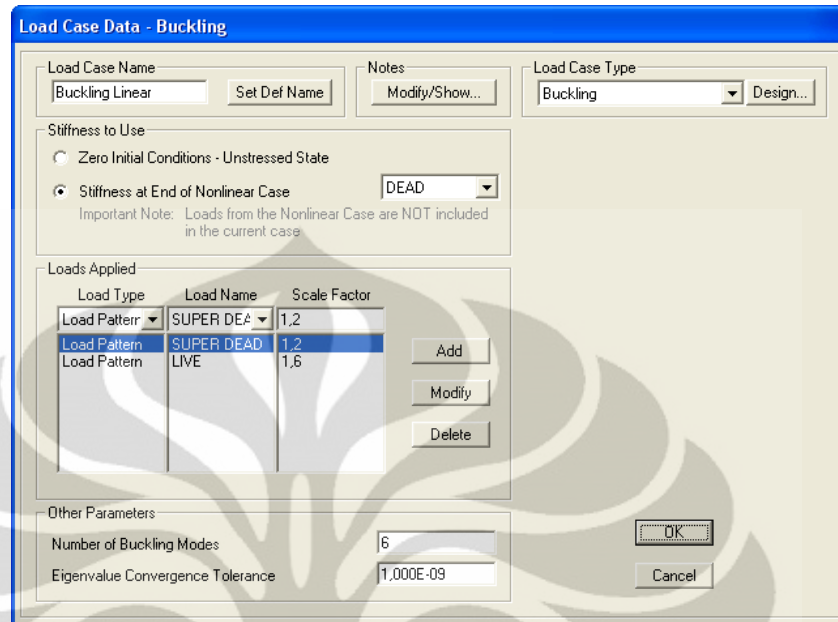
Deselect > Select Lines Parallel To > Coordinate Axes or Plane... Pada check box **Select Axes and Planes**, ceklis pada **Y Axis** dan **Z Axis** seperti pada gambar.



Setelah ini, dapat dilakukan input pembebanan, dengan perintah sebagai berikut: **Assign > Frame Loads > Distributed...** Input pembebanan yang ada, baik Super Dead maupun Live.

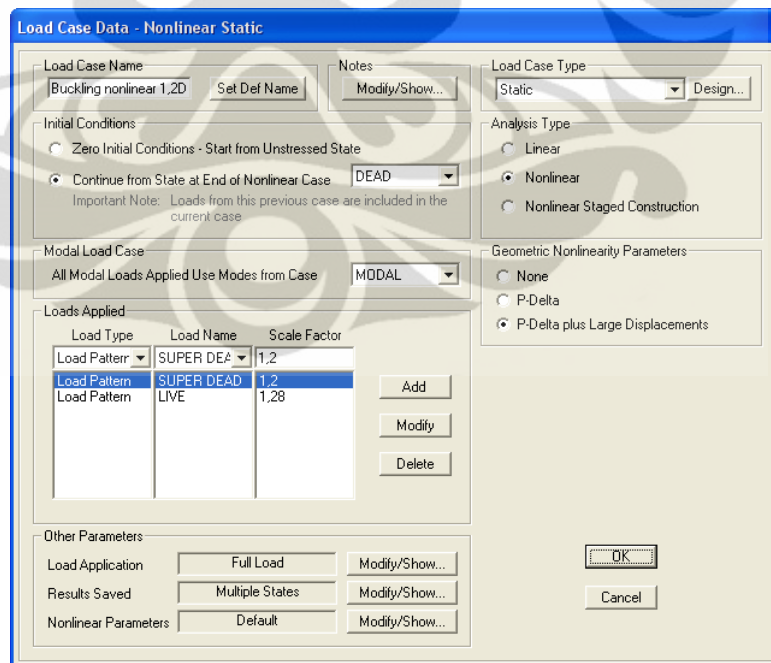


10. Mendefinisikan Load Cases Buckling Linear
Menu **Define > Load Cases...**



Load Cases Buckling Linear ini bertujuan hanya untuk mendapatkan mode dari keruntuhan tekuk yang terjadi.

11. Mendefinisikan Load Cases Buckling Nonlinear
Menu **Define > Load Cases...**



Dalam Load Cases Buckling Nonlinear ini, menggunakan **Load Application Load Control**, dengan **Loads Applied** yang digunakan menggunakan sistem *trial and error*, dengan kombinasi pembebanan

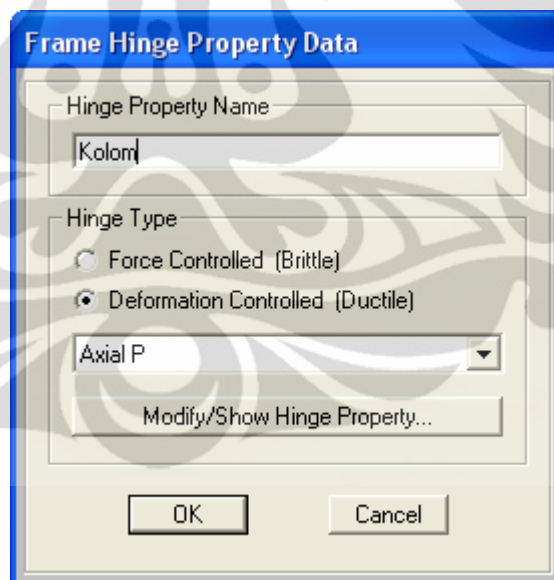
sebagai berikut: $1,2SUPER DEAD + \alpha \cdot 1,6LIVE$; (dengan nilai α berada dalam rentang $0 \leq \alpha \leq 1$). Hal ini dimaksudkan karena pembebanan yang relevan untuk berubah dalam struktur bangunan pengeringan karet ini adalah beban hidupnya saja, yang berupa beban lembaran karet.

Dan setelah dilakukan *trial and error*, ternyata didapatkan untuk pemodelan berdasarkan kondisi eksistingnya, struktur bangunan pengeringan karet ini mengalami keruntuhan ketika α bernilai 0,8 atau pembebanan karetnya bernilai 80% dari total pembebanan maksimum.

12. Mendefinisikan sendi plastis pada kolom dan balok

Menu **Define > Section Properties > Hinge Properties ...**

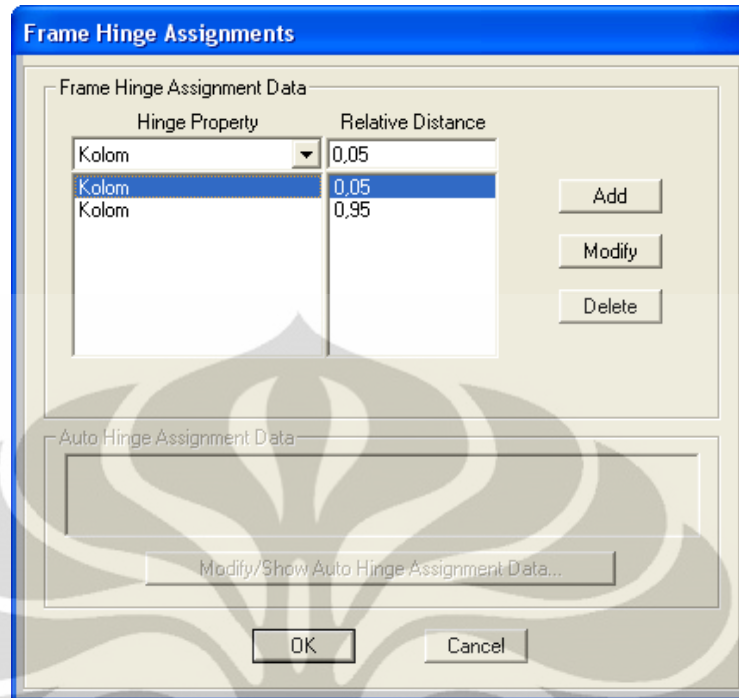
Baik sendi plastis pada kolom dan balok menggunakan default untuk material baja. Dan jenis sendi plastis yang digunakan adalah **Deformation Controlled (Ductile)**. Untuk sendi plastis pada kolom, DOF nya berupa P Aksial, sementara pada balok DOF nya berupa M3.



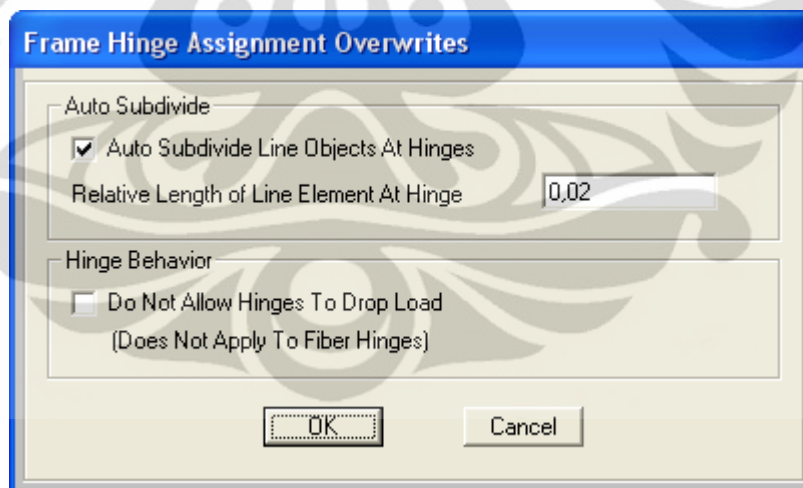
13. Memberikan sendi plastis pada kolom dan balok

Menu **Assign > Frame > Hinges...**

Lalu baik pada kolom dan balok, berikan dua buah sendi plastis pada kolom dan balok, sejarak 5% (dari panjang kolom atau balok) dari tiap ujung – ujungnya.



Setelah kolom dan balok diberikan sendi plastis, pilih kembali balok dan kolom tersebut, lalu lakukan perintah: **Assign > Frame > Hinge Overwrites...**

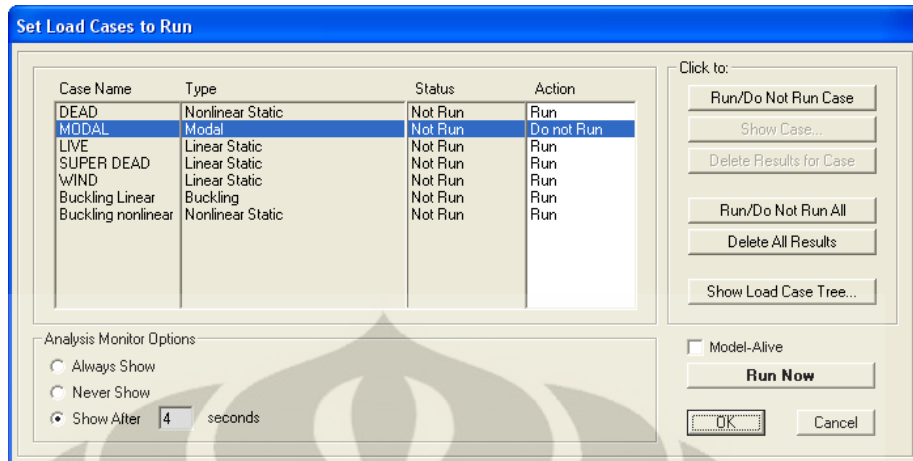


Hal ini bertujuan agar hasilnya lebih optimal.

14. Me-run pemodelan

Menu **Analyze > Run Analysis**

Pada bagian **Set Load Cases to Run**, matikan Case Name **MODAL**, sehingga status Actionnya menjadi **Do not Run**.



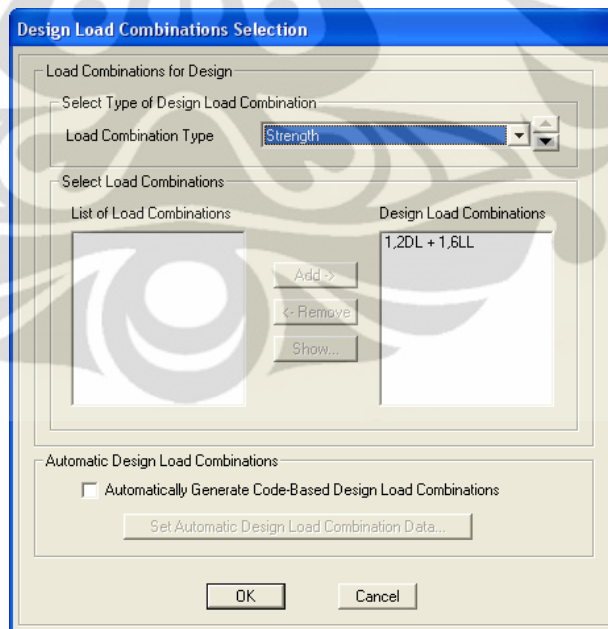
Setelah itu pemodelan dapat di-run.

15. Mengecek kapasitas kekuatan struktur terhadap kombinasi pembebanan

Menu **Design > Steel Frame Design > Start Design/Check of Structure.**

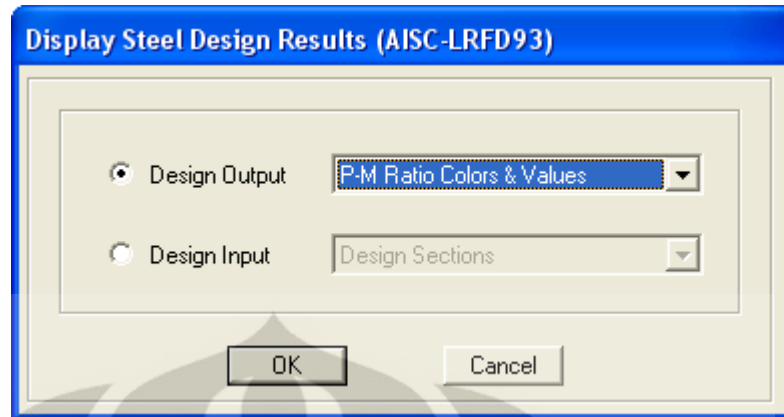
Namun sebelum melakukan pengecekan terhadap struktur, dilakukan dulu pemilihan Load Combination sebagai berikut:

Menu **Design > Steel Frame Design > Select Design Combos...**

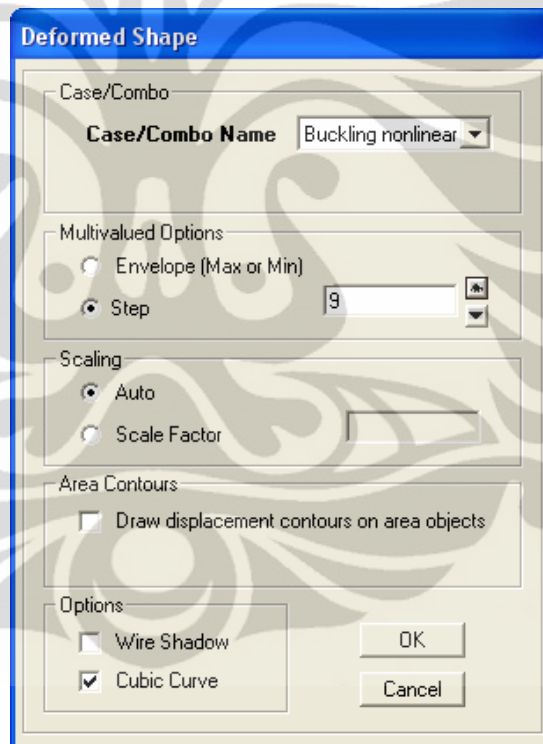


Lalu setelah dilakukan pengecekan terhadap struktur, dapat ditampilkan *stress ratio*-nya sebagai berikut:

Menu **Design > Steel Frame Design > Display Design Info...**



16. Mengecek struktur bangunan akibat *load case* yang diberikan
 Menu **Display > Show Deformed Shape...**

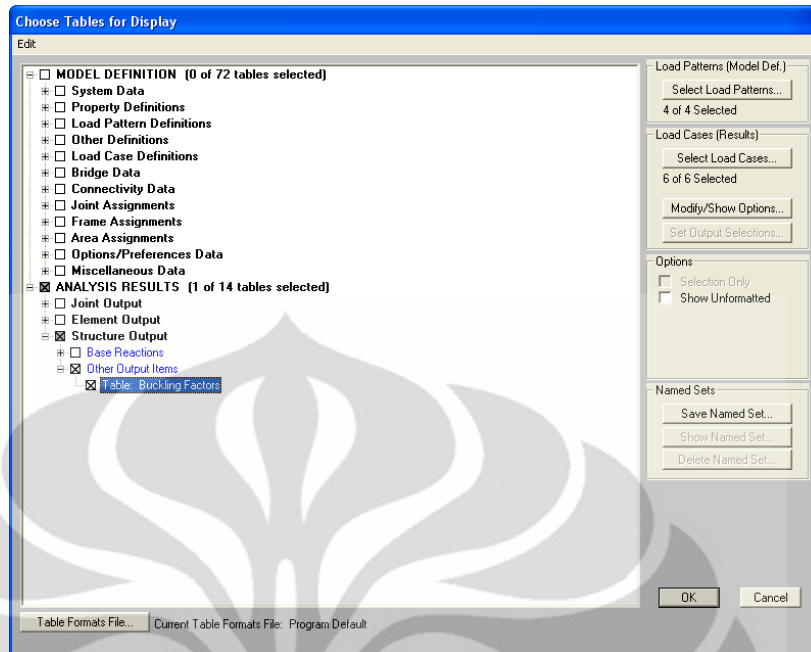


Pada bagian Case/Combo Name dapat diganti dengan tipe Load Case yang ingin dianalisa seperti Buckling Linear dan Buckling Nonlinear.

17. Mengecek faktor tekuk struktur bangunan akibat *load case* Buckling Linear

Menu **Display > Show Tables...**

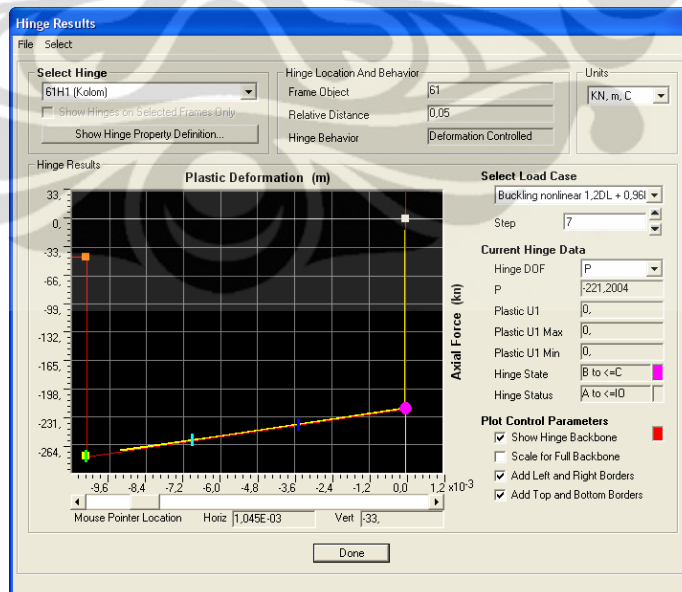
Lalu pada kotak check box, dipilih: **ANALYSIS RESULTS > Structure Output > Other Output Items > Table: Buckling Factors.**



18. Mengecek status sendi plastis

Menu **Display > Show Hinge Results...**

Bagian select hinge berguna untuk memilih sendi plastis mana yang ingin dicek. Untuk setiap member kolomnya sendiri terdiri dari dua buah sendi plastis, di atas (H2) dan di bawah (H1).

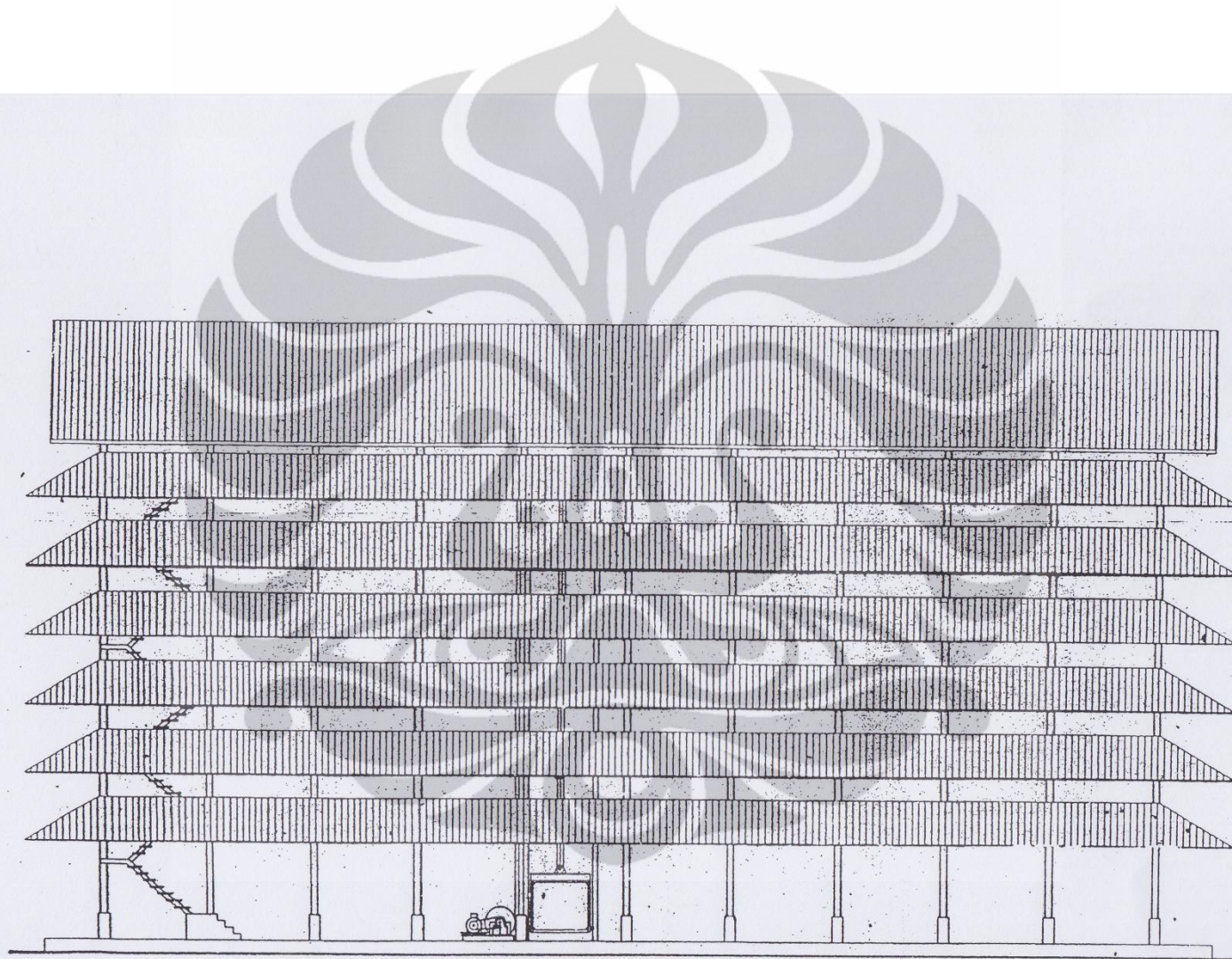


Agar memudahkan di dalam melakukan pembacaan, pada kotak check box **Plot Control Parameters** dicentang pada bagian: **Show Hinge Back Bone, Add Left and Right Borders, Add Top and Bottom Bord**

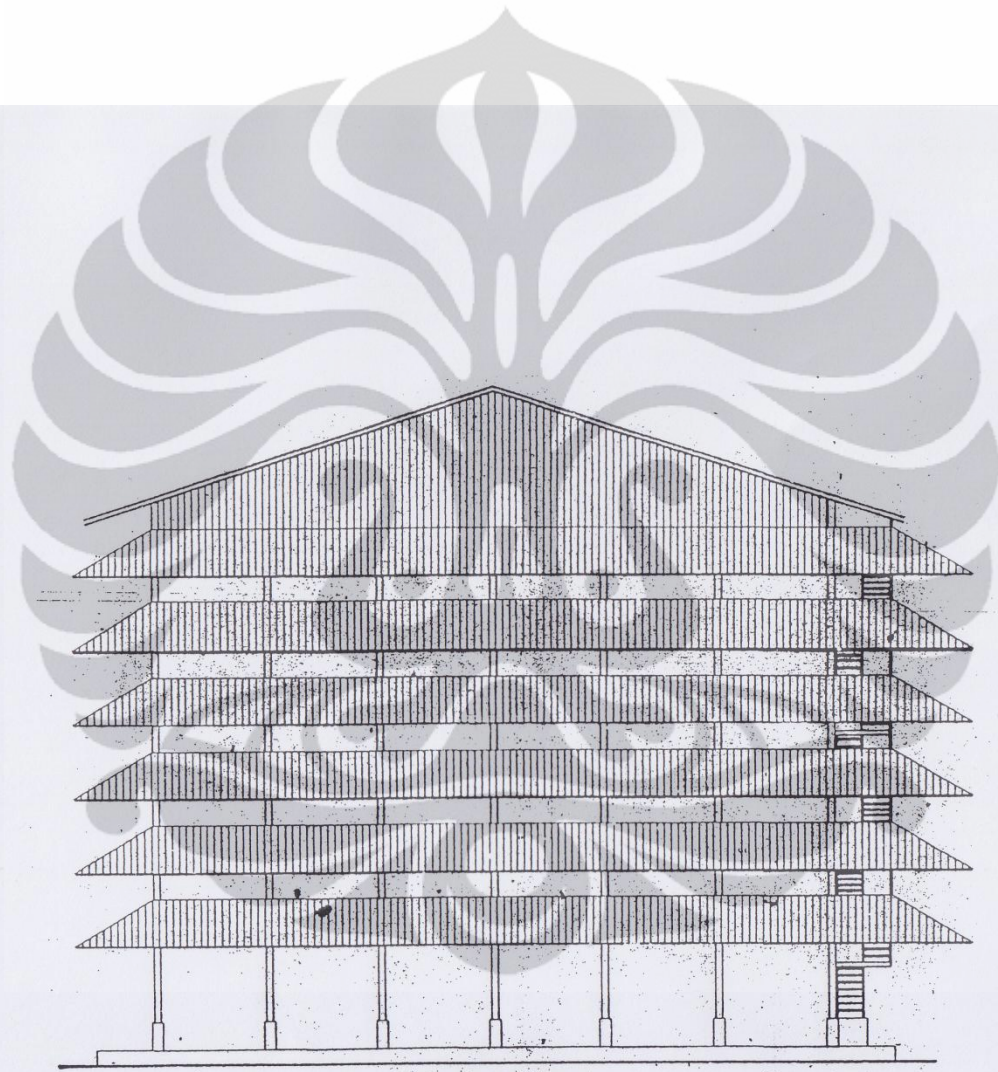


LAMPIRAN - A

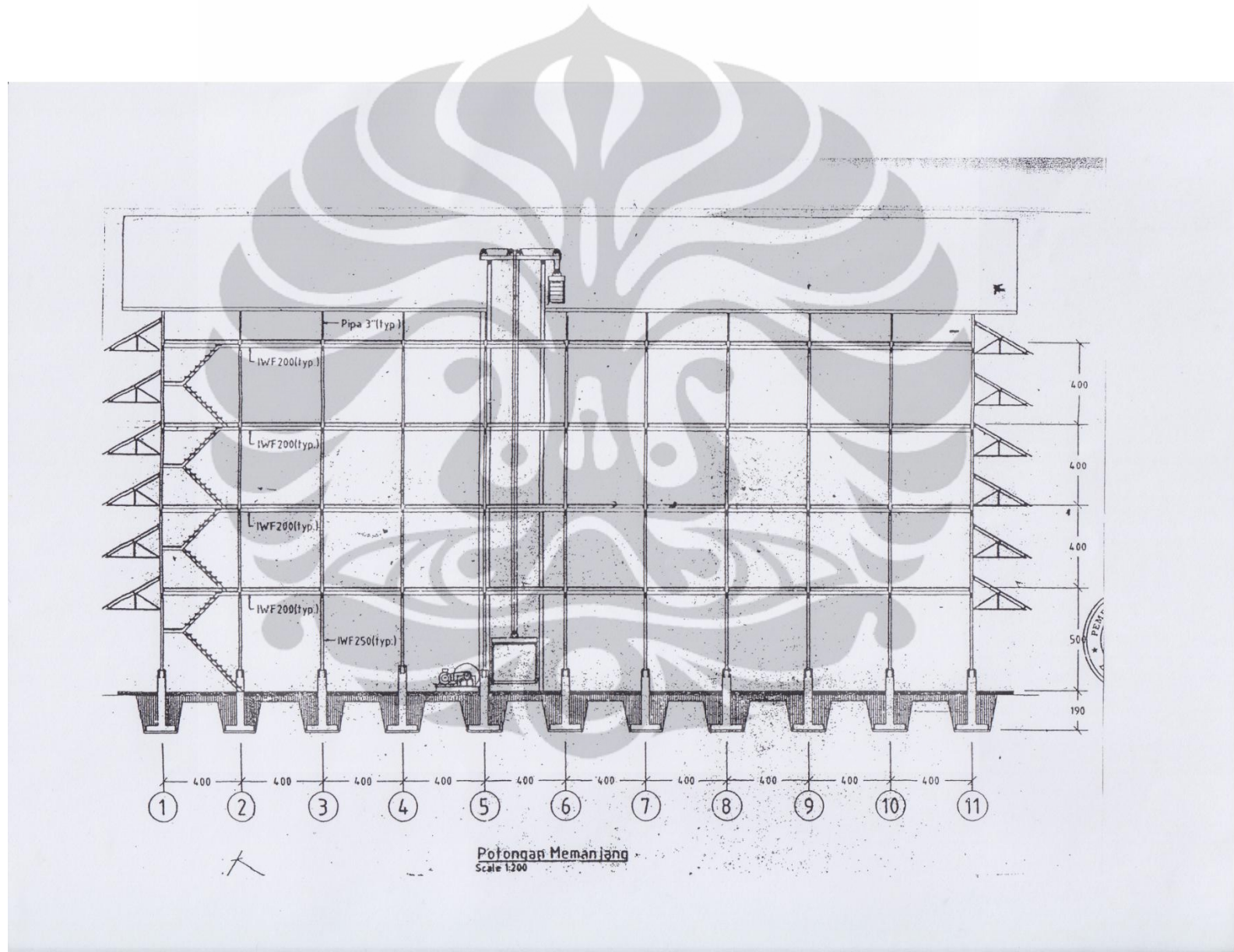
DATA – DATA STRUKTUR CRUMB RUBBER FACTORY

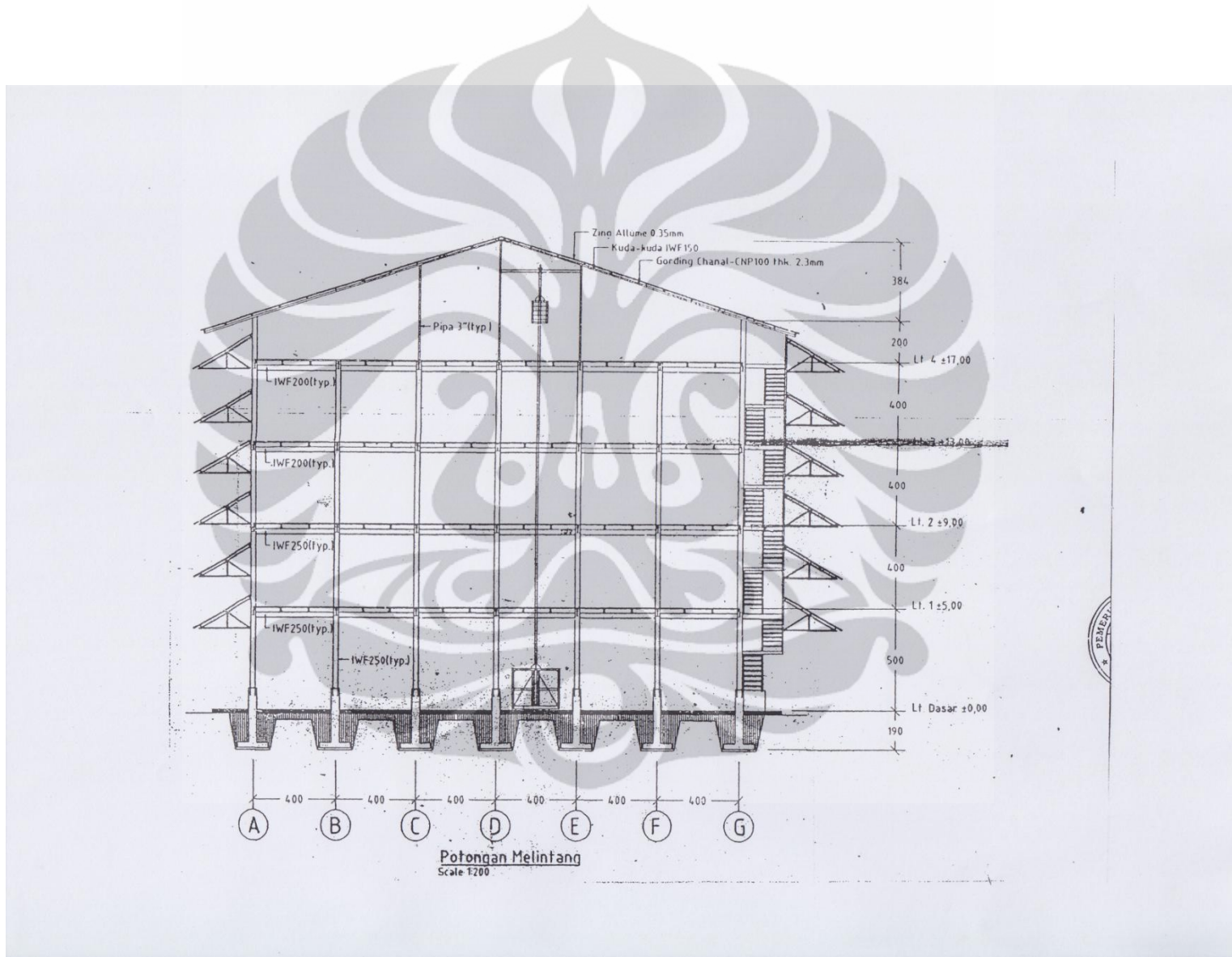


Jampak Depan
Scale 1:200



Tampak Samping
Scale 1:200







LAMPIRAN - B

DATA – DATA STRUKTUR CRUMB RUBBER FACTORY

**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

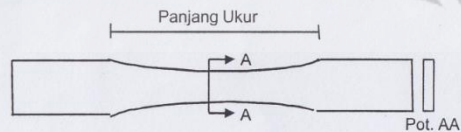
Kampus UI Depok 16424, Indonesia (021) Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No.Surat : 29179/H/LAB./FTUI/BS/VI/2010.
 Kegiatan Penelitian : LEMBAGA TEKNOLOGI FTUI
 : PABRIK PT. MARDEC MUSI LESTARI
 : PALEMBANG

HASIL PENGUJIAN TARIK PLAT BESI

NO.	KODE SAMPLE	BENTUK SAMPLE	DIMENSI SAMPLE [mm]	LUAS PENAMPANG [mm ²]	PANJANG UKUR [mm]	ΔL [mm]	σ_u [N/mm ²]	σ_y [N/mm ²]	E (%)	KETERANGAN
1	SIKU 50	PLAT	w = 13.00 t = 4.70	61.10	50	10.75	660	470	21.50	
2	WF 150	PLAT	w = 12.90 t = 5.40	69.66	50	11.25	560	410	22.50	
3	WF 200	PLAT	w = 12.45 t = 4.80	59.76	50	14.60	420	330	29.20	
4	WF 250	PLAT	w = 12.50 t = 5.30	66.25	50	12.25	480	330	24.50	
=====										

FTMH

DETAIL GAMBAR :

Ditest oleh : BAS
 Diperiksa oleh :

Depok, June 16, 2010.
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



CENTER FOR MATERIAL PROCESSING AND MECHANICAL ANALYSIS
 UNIVERSITAS INDONESIA - DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
 Phone: 021 - 783 49043, 786 3518 Fax: 021 - 737 2330
 E-mail : cmpra@metalui.ac.id

Lembar Data Pengujian Tarik
 (Tensile Testing Data Sheet)

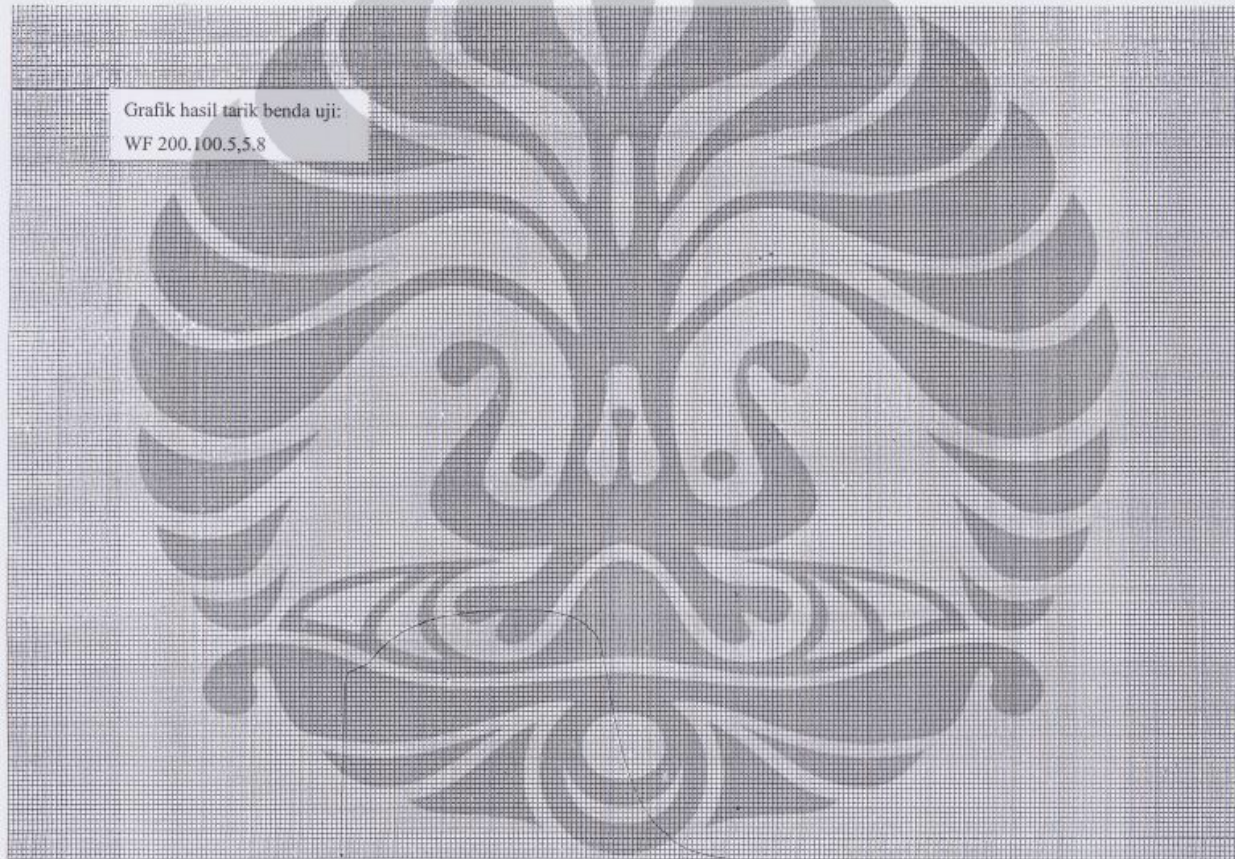
Mesin Uji	SHIMADZU	No. Kontrak:	0727	Tanggal Uji:	16-06-2010
Bahan	BAJA	Teknisi Penguji:	NUDDIN	Paraf Teknisi:	<i>[Signature]</i>
Identitas Bahan	PLAT	Standar/ Metode Uji:	Z-2201	Tanggal Bahan diterima:	15-06-10

No	Kode Sampel	Bentuk Sampel	Dimensi Sampel (mm)	Luas penampang (mm ²)	Panjang Ukur (mm)	Fu (kg)	Fy (kg)	AL (mm)	su (kg/mm ²)	sy (kg/mm ²)	e (%)	Kat.
1	SIKU 50	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t = 4,70 w = 13,00	61,10	50	4050	2900	10,75	9,81 66	47	21,50	
2	WF 150	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t = 5,40 w = 12,90	69,66	50	3915	2875	11,25	56	41	22,0	
3	WF 200	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t = 4,80 w = 12,55	59,76	50	2550	2000	14,60	42	33	29,20	
4	WF 250	<input type="checkbox"/> Rod <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t = 5,30 w = 12,50	66,25	50	3200	2250	12,25	48	33	24,50	
		<input type="checkbox"/> Rod <input type="checkbox"/> Plat										
		<input type="checkbox"/> Rod <input type="checkbox"/> Plat										
		<input type="checkbox"/> Rod <input type="checkbox"/> Plat										
		<input type="checkbox"/> Rod <input type="checkbox"/> Plat										

* Coret yang tidak perlu



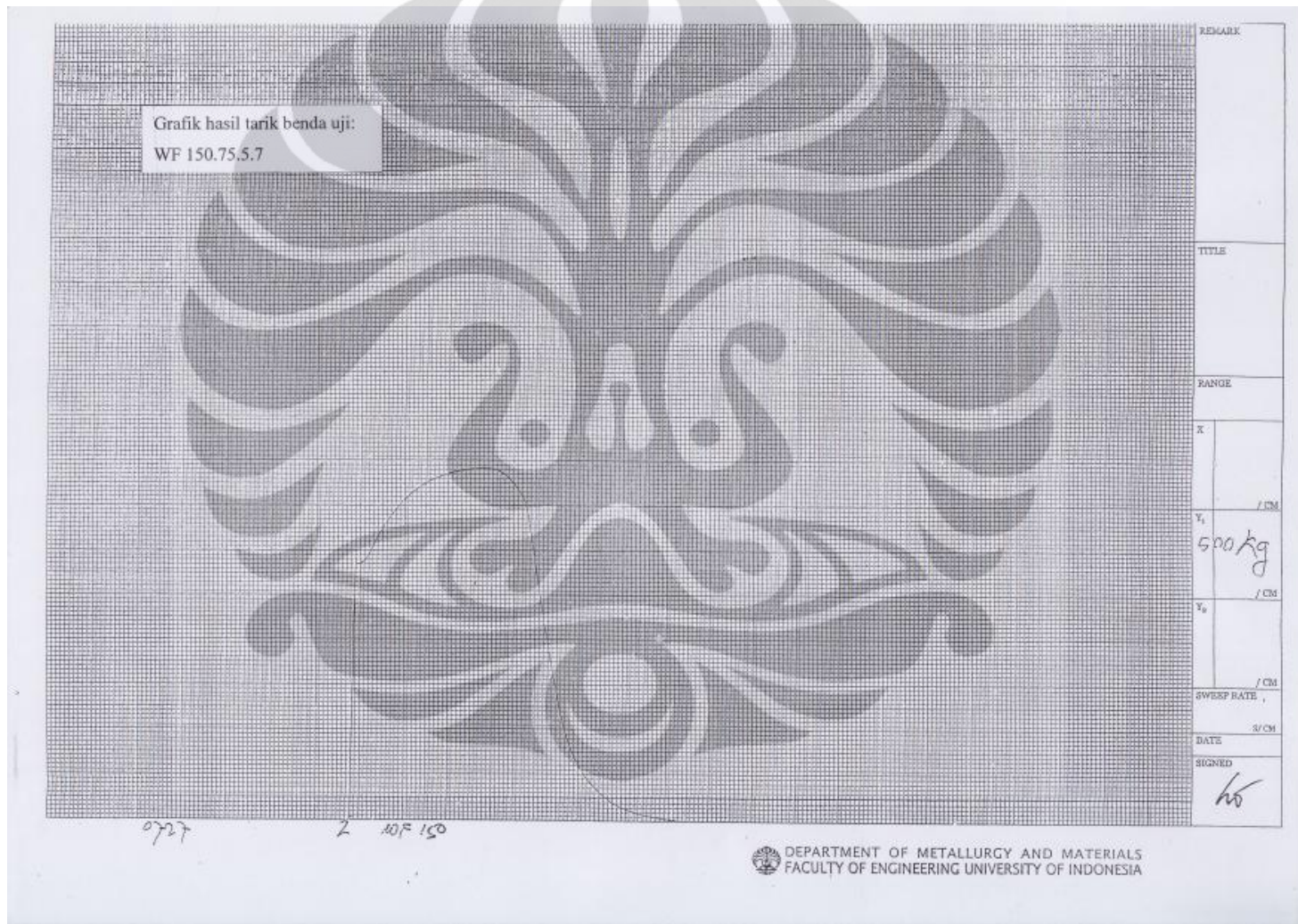
Grafik hasil tarik benda uji:
WF 200.100.5,5.8



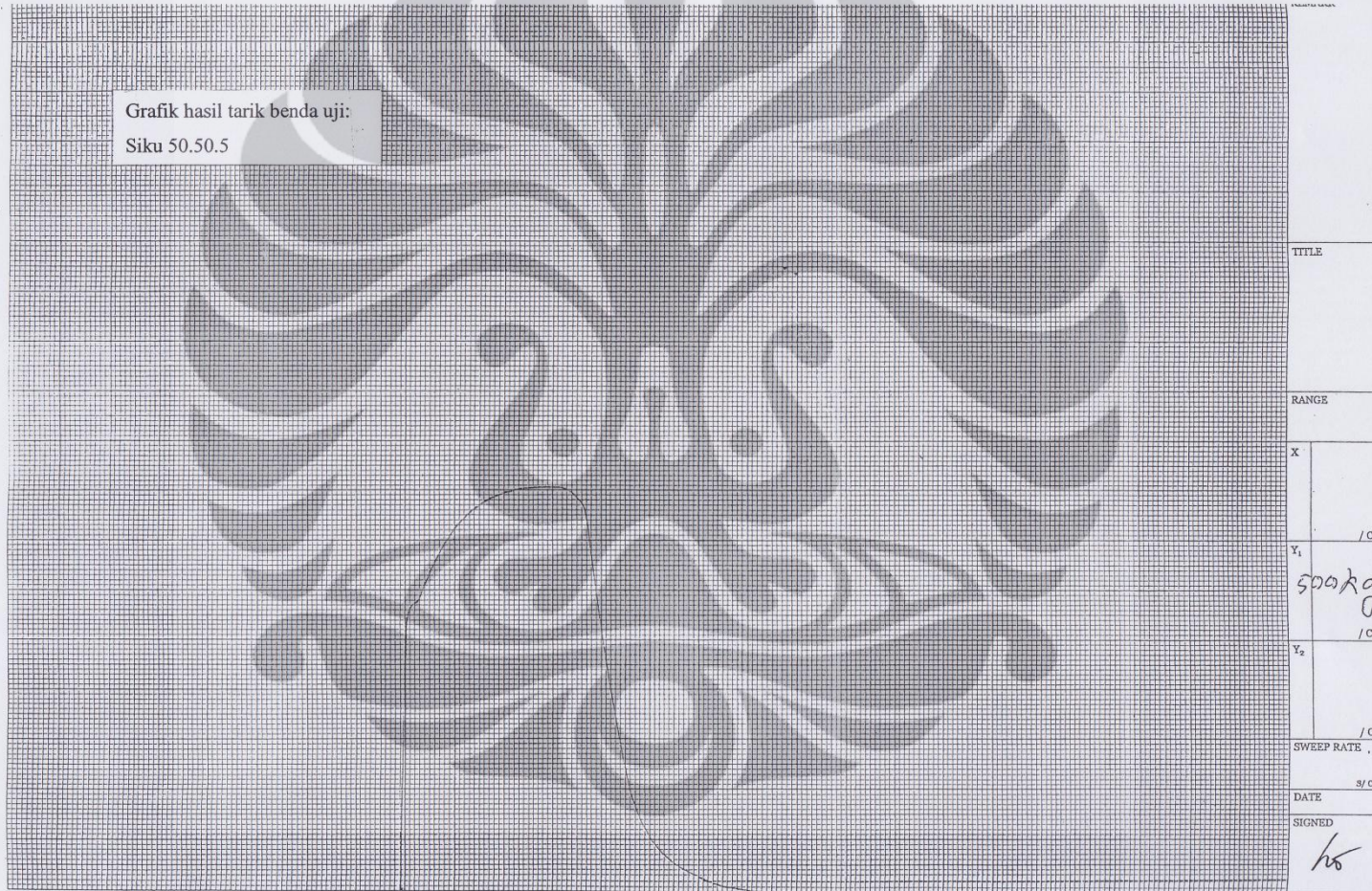
TITLE
RANGE
X
Y ₁ / CM
Y ₂ / CM
SWEEP RATE / CM
DATE S/ DE
SIGNED /s

0727

3 WF 200



Grafik hasil tarik benda uji:
Siku 50.50.5



0727

1 SILAU 50

TITLE	
RANGE	
X	/ CM
Y ₁	500kg / CM
Y ₂	/ CM
SWEEP RATE	
/ SJ CM	
DATE	
SIGNED	
hs	