



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN GRAFIK DESIGN STRENGTH LENTUR
BALOK PROFIL BAJA YANG ADA DI INDONESIA SEBAGAI
FUNGSI DARI UNBRACED LENGTH DENGAN ASUMSI**

$C_b = 1$

SKRIPSI

KRISNANDHA RAHARDIAN

0906605694

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

DEPOK

2012

146/FT.EKS.01/SKRIP/02/2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN GRAFIK DESIGN STRENGTH LENTUR
BALOK PROFIL BAJA YANG ADA DI INDONESIA SEBAGAI
FUNGSI DARI UNBRACED LENGTH DENGAN ASUMSI**

$$C_b = 1$$

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

KRISNANDHA RAHARDIAN

0906605694

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
STRUKTUR
DEPOK
2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Krisnandha Rahardian

NPM : 0906605694

Tanda Tangan : 

Tanggal : 18 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Krisnandha Rahardian
NPM : 0906605694
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : PENGEMBANGAN GRAFIK DESIGN
STRENGTH LENTUR BALOK PROFIL BAJA YANG ADA DI INDONESIA
SEBAGAI FUNGSI DARI UNBRACED LENGTH DENGAN ASUMSI $C_b = 1$

Telah berhasil dipertahankan 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 : Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng (.....)
Pembimbing : Mulia Orientilize, ST, M.Eng (.....)
Penguji : Dr.Ir. Heru Purnomo (.....)
Penguji : DR.-Ing Henki W. Ashadi (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 18 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan seminar ini. Penulisan seminar ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil kekhususan Struktur pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

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

- (1) Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng dan Mulia Orientilize, ST, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan seminar ini.
- (2) Kepada Pusat Komputer Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah bersedia meminjamkan fasilitas komputer untuk menjalankan program dari skripsi saya.
- (3) Ayah dan ibu saya yang telah memberikan doa, perhatian, dan kasih sayangnya dalam penyusunan seminar ini.
- (4) Seluruh sahabat yang telah memberikan bantuan/dukungan semangat dan doa untuk kelancaran penyusunan seminar ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tulisan ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di Indonesia.

Depok, Januari 2012



Penulis

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

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

Nama : Krisnandha Rahardian

NPM : 0906605694

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 :

PENGEMBANGAN GRAFIK DESIGN STRENGTH LENTUR BALOK
PROFIL BAJA YANG ADA DI INDONESIA SEBAGAI FUNGSI DARI
UNBRACED LENGTH DENGAN ASUMSI $C_b = 1$

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 : 18 Januari 2012

Yang menyatakan



(Krisnandha Rahardian)

ABSTRAK

Nama : Krisnandha Rahardian
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : **PENGEMBANGAN GRAFIK DESIGN STRENGTH LENTUR BALOK PROFIL BAJA YANG ADA DI INDONESIA SEBAGAI FUNGSI DARI UNBRACED LENGTH DENGAN ASUMSI $C_b = 1$**

Material baja sebagai salah satu material konstruksi mulai banyak digunakan di dalam pembangunan infrastruktur untuk menunjang perekonomian. Konsekuensi dari penggunaan material baja adalah pemerintah harus mengeluarkan suatu regulasi mengenai penggunaan material baja di dalam konstruksi. Standar yang berlaku di Amerika adalah AISC kemudian standar yang berlaku di Indonesia adalah SNI 03-1729-2002. Untuk lebih mengembangkan SNI maka dibuat grafik momen nominal dengan fungsi *Unbraced length* dengan menggunakan dimensi yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel yang bertujuan mempermudah penggunaannya dalam perencanaan balok untuk baja.

Kata Kunci :

Momen Nominal $C_b=1$, *Unbraced Length*, Grafik Desain, MATLAB, AISC.

ABSTRACT

Name : Krisnandha Rahardian
Majority : Civil Engineering
Final Project Title : **INDONESIA'S STEEL BEAM FLEXURAL STRENGTH GRAPHIC DESIGN DEVELOPMENT AS AN UNBRACED LENGTH FUNCTION WITH THE ASSUMPTION OF $C_b = 1$.**

Steel material as one of the construction material has been used in infrastructure development to support the economy. The consequences of using steel in construction is the government has to make a regulation about the using of steel material in construction. America has its standard for steel construction which is AISC, and also in Indonesia has SNI 03-1729-2002. To develop the SNI becomes user friendly in steel design, therefore we make nominal capacity graphic as an unbraced length function using PT. Krakatau Steel's steel beam product.

Keyword :

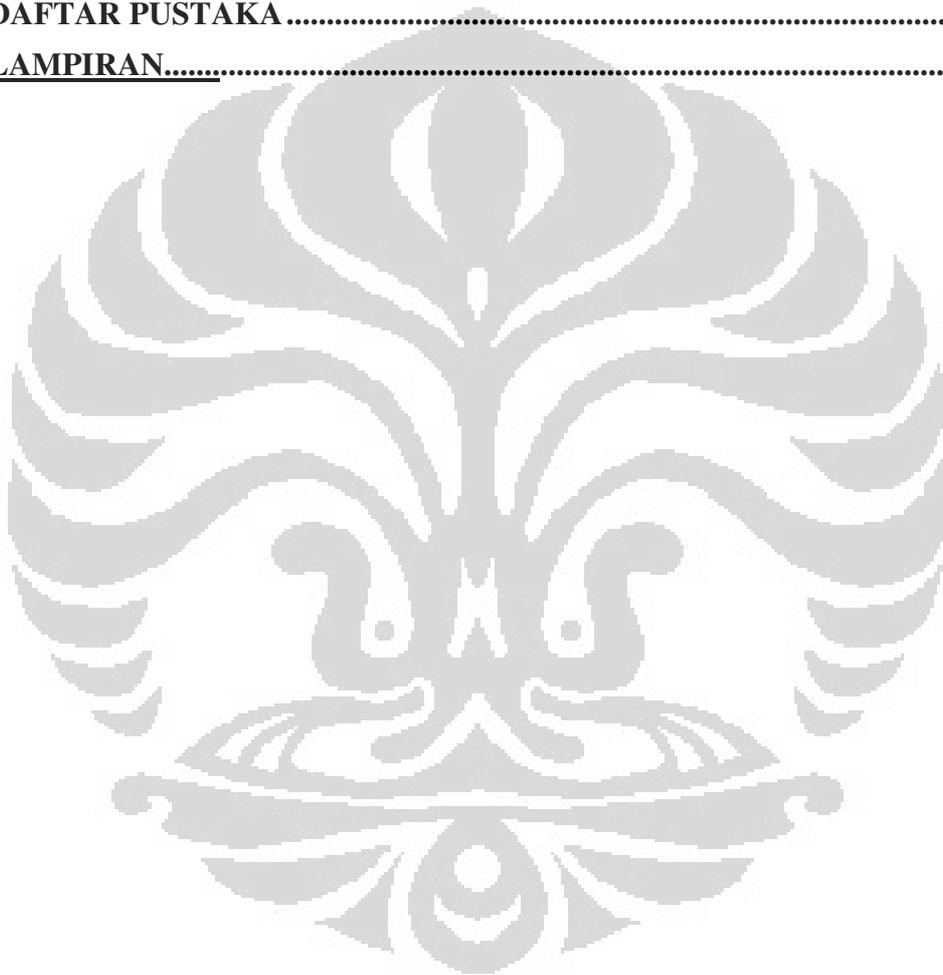
Nominal Capacity $C_b=1$, Unbraced Length, Graphic Design, MATLAB, AISC.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR DIAGRAMxiii
<u>BAB I PENDAHULUAN.....</u>	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Batasan Masalah.....	5
I.5 Metodologi Penelitian	5
I.6 Sistematika Penulisan.....	6
<u>BAB II DASAR TEORI.....</u>	8
II.1 Teori Balok Umum.....	8
II.2 Baja Struktural.....	9
II.3 Baja Giling Panas	10
II.3.1. Baja Karbon.....	10
II.3.2. Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi.....	11
II.3.3. Baja Paduan	11
II.4 Diagram Tegangan - Regangan.....	11
II.5 Angka Poisson.....	12
II.6 Modulus Elastis Geser.....	12
II.7 Struktur Balok	14
II.8 Tegangan Lentur dan Momen Plastis.....	15
II.9 Stabilitas	21
II.10 Klasifikasi Bentuk	24
II.11 Kuat Lentur Penampang Kompak	26

II.12	Kuat Lentur Penampang Non Kompak	32
II.13	Batasan di dalam SNI 03-1729-2002	33
<u>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</u>		34
III.1	Sistematika Penelitian	34
III.2	Studi Literatur.....	35
III.3	Pengumpulan Data	37
III.4	Analisis Perhitungan.....	37
III.5	Menghitung Kuat Lentur Penampang Kompak.....	41
III.6	Menghitung Kuat Lentur Penampang Non Kompak	44
III.7	Grafik Desain Dengan MATLAB	45
III.7.1.	Type Data.....	46
III.7.2.	Variabel.....	46
III.7.3.	Operator Aritmatika.....	47
III.7.4.	Flow Control	48
III.7.5.	Defenisi Fungsi	50
III.7.6.	Memanggil dan Mengevaluasi Fungsi	51
III.7.7.	Masukan dan Keluaran	51
III.7.8.	Array Functions	51
III.7.9.	Menulis dan Menjalankan Program	52
III.7.10.	Plotting.....	53
<u>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</u>		54
IV.1	Pengumpulan Data	54
IV.2	Analisis Perhitungan.....	55
IV.2.1	Perhitungan Properti Penampang	56
IV.2.1.	Perhitungan Luas Penampang.....	56
IV.2.2.	Perhitungan Titik Berat Penampang.....	58
IV.2.3.	Perhitungan Momen Inersia.....	60
IV.2.4.	Perhitungan Jari – jari Girasi	63
IV.2.5.	Perhitungan Momen Torsional	64
IV.2.6.	Perhitungan Modulus Penampang Elastis	65
IV.2.7.	Perhitungan Modulus Penampang Plastis.....	65
IV.2.8.	Perhitungan Tekuk Torsional Konstan	66
IV.2.2	Cek Penampang.....	67
IV.2.3	Momen Nominal Penampang Kompak	68

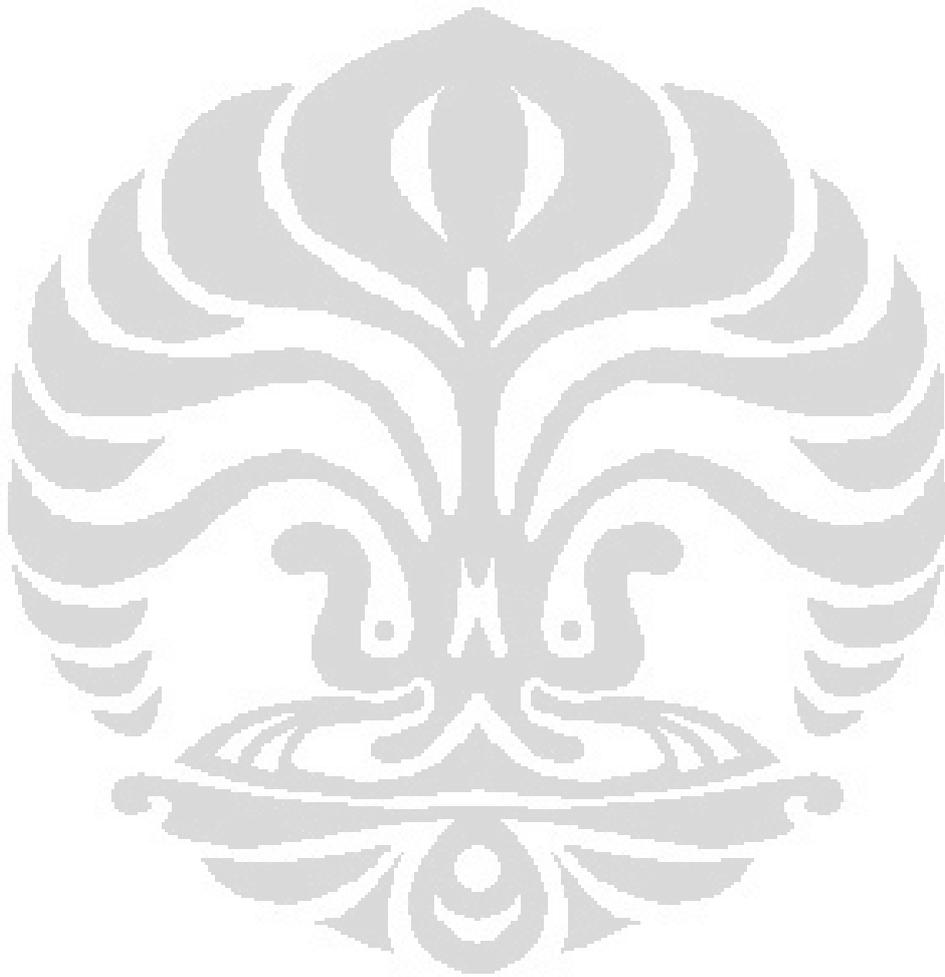
IV.2.4	Momen Nominal Penampang Non Kompak	69
IV.2.5	Pemrograman Dengan MATLAB	69
IV.2.6	Program Properti Penampang.....	71
IV.2.7	Program Cek Penampang	74
IV.2.8	Program Momen Nominal.....	74
IV.2.9	Program Utama.....	77
IV.2.10	Validasi Program.....	79
<u>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</u>		90
<u>DAFTAR PUSTAKA</u>		92
<u>LAMPIRAN.....</u>		93



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Batang yang diberikan beban aksial dan grafik hubungan antara beban yang diberikan dengan perpendekan yang terjadi.....	12
Gambar 2.2. Gambar Grafik hubungan tegangan regangan dan bagian-bagian dari grafik tersebut.....	13
Gambar 2.3 Dimensi profil baja Wide Flange.....	15
Gambar 2.4. (a) Potongan penampang baja simetris, (b) distribusi regangan linear, (c) distribusi tegangan nonlinear	17
Gambar 2.5 Gaya Dalam pada Balok	18
Gambar 2.6. Distribusi tegangan lentur pada potongan penampang balok	18
Gambar 2.7. Kondisi sendi plastis	20
Gambar 2.8. Resultan tegangan tekan dan tegangan tarik.....	21
Gambar 2.9. Lateral-torsional buckling (a), Pengekang lateral (b), Pengekang torsi (c).....	22
Gambar 2.10. Grafik hubungan beban dengan lendutan pada tengah bentang .	23
Gambar 2.11. grafik hubungan antara M_n dengan L_b (panjang balok tak terkekang).....	29
Gambar 3.1. Penampang baja wide flange	38
Gambar 3.2. Grafik Hubungan Panjang bentang tak terkekang dengan momen nominal	45
Gambar 4.1. Luas penampang tambahan pada hubungan badan dan sayap.....	57
Gambar 4.2. Pembagian Penampang Baja WF.....	57
Gambar 4.3. Gambar penampang tambahan pada hubungan flens dan web.....	58
Gambar 4.4. Gambar Jarak elemen penampang ke titik koordinat.....	60
Gambar 4.5. Gambar Penampang WF simetris	64
Gambar 4.6. Grafik output program untuk penampang AISC W36x800($L_b < L_p$)	83
Gambar 4.7. Grafik output program untuk penampang AISC W36x800($L_p < L_b < L_r$)	84
Gambar 4.8. Grafik output program untuk penampang AISC W36x800($L_r < L_b$)	85
Gambar 4.9. Gambar grafik hubungan momen nominal versus <i>unbraced length</i> AISC dengan output program.....	87

Gambar 4.10. Gambar grafik hubungan momen nominal versus *unbraced length*
AISC.....88

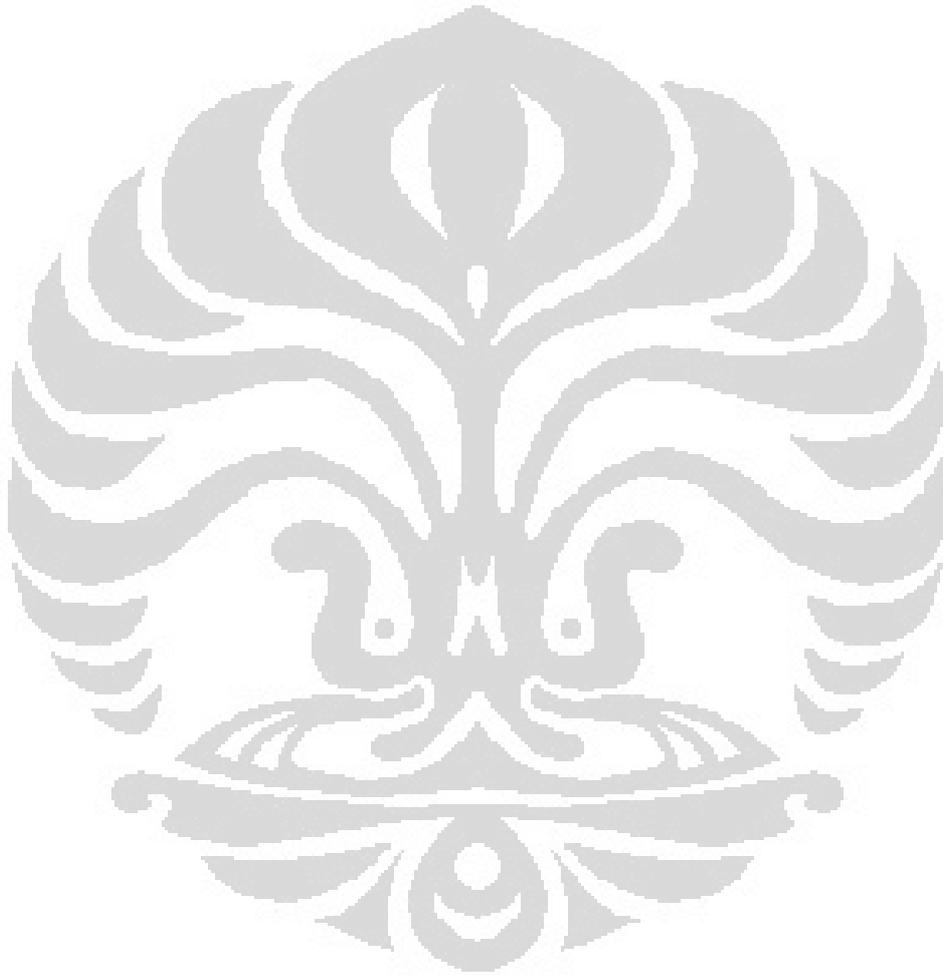


DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan.	24
Tabel 2. Tabel parameter perbandingan lebar dengan tebal profil	26
Tabel 3. Momen kritis untuk tekuk lateral	30
Tabel 4. Bentang untuk pengekangan lateral	31
Tabel 5. Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan.	39
Tabel 6. Momen kritis untuk tekuk lateral	42
Tabel 7. Bentang untuk pengekangan lateral	43
Tabel 8. Variabel di dalam MATLAB	47
Tabel 9. Operator di dalam MATLAB	47
Tabel 10. Operator Divisi di dalam MATLAB.....	47
Tabel 11. Operator dengan periode (.) di dalam MATLAB.....	47
Tabel 12. Variabel di dalam MATLAB	47
Tabel 13. Variabel di dalam MATLAB	48
Tabel 14. Profil baja WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel	54
Tabel 15. Tabel mutu baja yang diproduksi oleh PT.Krakatau Steel	55
Tabel 16. Tabel Penampang baja WF AISC	80
Tabel 17. Tabel Perbandingan hasil keluaran program dengan AISC	86

DAFTAR DIAGRAM

Diagram 1. Flow Chart Metodologi Penelitian.....	34
Diagram 2. Alur Pikir sub fungsi program	70
Diagram 3. Alur Pikir fungsi utama.....	71



BAB I

PEDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Desain suatu konstruksi memerlukan penilaian secara teknik untuk menghasilkan suatu sistem konstruksi yang sesuai dengan keinginan pengguna jasa. Sistem ini menyatukan berbagai model matematik yang kemudian menghasilkan gaya-gaya bagian konstruksi untuk kemudian digunakan di dalam analisis terhadap struktur yang akan dibangun tersebut.

Berdasarkan hasil analisis struktur maka dibuat beberapa model geometris sebagai penampang untuk kemudian disesuaikan dengan pemilihan bahan, keinginan pengguna jasa, pertimbangan arsitektur, dan kemampuan material tersebut untuk melayani sesuai dengan umur yang direncanakan. Beberapa material yang pada umumnya sering digunakan antara lain beton, kayu, baja, atau material lainnya yang mungkin digunakan untuk konstruksi.

Material baja sebagai salah satu material konstruksi mulai banyak digunakan di dalam pembangunan infrastruktur untuk menunjang perekonomian. Kemampuan baja untuk berdeformasi saat terjadi tegangan hingga sebelum terjadi kegagalan lebih tinggi dibandingkan material lainnya. Selain itu, dalam material baja di dalam pelaksanaan konstruksi dapat disediakan secara luas dan daya tahannya. Di dalam pelaksanaan konstruksi, baja cenderung memiliki waktu pelaksanaan yang lebih singkat dibandingkan material lain.

Konsekuensi dari penggunaan material baja adalah pemerintah harus mengeluarkan suatu regulasi mengenai penggunaan material baja di dalam konstruksi. Di dunia standard yang umumnya berlaku adalah standard yang dikeluarkan oleh *American Institute of Steel Construction* (AISC). Untuk menyesuaikan dengan standard AISC, di Indonesia kemudian mengeluarkan regulasi yang mengatur mengenai penggunaan material baja di dalam konstruksi dalam bentuk SNI atau Standard Nasional Indonesia dengan mengacu pada AISC tersebut. Saat ini regulasi yang masih berlaku adalah SNI 03 – 1729 – 2002.

Regulasi mengenai konstruksi baja di Indonesia mencakup berbagai perhitungan mengenai desain konstruksi baja. Di dalam SNI tersebut menjelaskan

mengenai proses perencanaan beserta perhitungannya, data perencanaan, detail perencanaan, hingga proses pelaksanaan.

Di dalam proses perencanaan struktur memiliki tujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, mampu-layan, awet, dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti ekonomi dan kemudahan pelaksanaan. Struktur baja yang memenuhi syarat di dalam memikul beban-beban kerja apabila ia tidak mudah terguling, miring, atau tergeser, selama umur bangunan yang direncanakan. Suatu struktur disebut cukup kuat menahan gaya luar yang bekerja pada struktur dan mampu-layan bila kemungkinan terjadinya kegagalan-struktur dan kehilangan kemampuan layan selama umur rencana yang direncanakan adalah kecil dan dalam batas yang dapat diterima. Suatu struktur memenuhis syarat mampu-layan selama umur rencana apabila struktur tersebut dapat menerima keausan dan kerusakan yang diharapkan terjadi selama umur bangunan yang direncanakan dengan pemeliharaan struktur tidak secara berlebihan.

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 di dalam perencanaan struktur baja harus memenuhi syarat-syarat berikut:

- 1) analisis struktur baja harus diperhitungkan dan dilakukan dengan menggunakan mekanika teknik yang baku;
- 2) apabila analisis struktur dilakukan dengan komputer, maka harus menghasilkan prinsip cara kerja program dan harus ditunjukkan dengan jelas masukan data di dalam analisis struktur tersebut dan juga harus dijelaskan mengenai keluaran data dari hasil analisis struktur tersebut;
- 3) percobaan model dimungkinkan apabila menunjang analisis teoritis;
- 4) analisis struktur harus dilakukan dengan model-model matematis yang baku yang mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari segi sifat bahan dan kekakuan unsur-unsur dari struktur tersebut;
- 5) apabila cara perhitungan berbeda dari tata cara yang ada di SNI, maka harus mengikuti persyaratan sebagai berikut:

(1) struktur yang dihasilkan dapat dibuktikan dengan perhitungan dan atau percobaan yang aman;

(2) tanggung jawab atas penyimpangan, dipikul oleh perencana dan pelaksana yang bersangkutan;

(3) perhitungan dan atau percobaan tersebut diajukan kepada panitia yang ditunjuk oleh pengawas bangunan, yang terdiri dari ahli-ahli yang diberi wewenang menentukan segala keterangan dan cara-cara tersebut. Bila perlu, panitia dapat meminta diadakan percobaan ulang, lanjutan atau tambahan. Laporan panitia yang berisi syarat-syarat dan ketentuan - ketentuan penggunaan cara tersebut mempunyai kekuatan yang sama dengan tata cara ini.

Perhitungan di dalam perencanaan struktur baja memiliki beberapa data masukan, antara lain sifat mekanis baja, tegangan leleh baja, tegangan putus baja, Modulus elastisitas, modulus geser, nisbah poisson, dan koefisien pemuaian. Sifat mekanis baja ini menjadi acuan para desainer untuk menentukan berapa besarnya dimensi profil yang mampu menahan berbagai gaya luar yang menghasilkan gaya-gaya dalam pada struktur. Tegangan leleh dan tegangan putus baja tergantung dari kualitas material baja. Di Indonesia sendiri terdapat beberapa kualitas material baja yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel.

Namun, di dalam SNI tersebut hanya terdapat perhitungan-perhitungan untuk digunakan di dalam perencanaan struktur baja, belum disesuaikan dengan kualitas dan dimensi profil baja yang ada di pasaran Indonesia. Sedangkan di dalam AISC, sudah memiliki grafik hubungan Momen nominal versus panjang efektif untuk berbagai dimensi profil yang ada di pasaran Amerika. Agar SNI tersebut lebih menyesuaikan dengan berbagai dimensi profil baja yang ada di Indonesia maka dibuatlah perhitungan untuk membuat grafik tersebut dengan tujuan supaya SNI lebih mudah di dalam penggunaannya di dalam perencanaan suatu struktur baja.

I.2 Perumusan Masalah

Di dalam SNI memiliki persyaratan-persyaratan umum serta ketentuan-ketentuan teknis perencanaan dan pelaksanaan struktur baja untuk bangunan gedung, atau struktur bangunan lain yang mempunyai kesamaan karakter dengan struktur gedung. Ketentuan-ketentuan minimum untuk merencanakan, fabrikasi, mendirikan bangunan, dan modifikasi atau renovasi pekerjaan struktur baja, sesuai dengan metode perencanaan keadaan batas; struktur dan material bangunan

berikut, komponen struktur baja, dengan tebal lebih dari 3 mm, tegangan leleh (f_y) komponen struktur kurang dari 450 Mpa.

Analisis struktur menggunakan metode plastis (LRFD). Dimana kuat rencana dikalikan dengan faktor reduksi sebagai batas minimum kekuatan baja terhadap gaya-gaya dalam. Analisis menggunakan balok di atas dua tumpuan sederhana dengan beban-beban sesuai dengan SNI 03-1729-2002. Masukan data lainnya untuk perencanaan adalah tegangan leleh baja, tegangan putus baja, modulus geser, nisbah poisson, dan koefisien pemuaian sesuai dengan kualitas material baja yang ada di pasaran Indonesia.

Tinjauan dilakukan pada seluruh penampang profil baja WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel. Kemudian didapat nilai kuat lentur rencana yang sudah dikalikan dengan faktor reduksi pada panjang efektif tidak terikat (*unbraced length*) dengan asumsi $C_b = 1$ (balok berada pada dua tumpuan sederhana).

Seluruh perhitungan tersebut dimasukkan sebagai data komputer dan persamaan-persamaan yang dihasilkan kemudian akan menghasilkan grafik kuat lentur rencana dan kuat tarik/tekan rencana yang sudah dikalikan dengan faktor reduksi versus panjang efektif tidak terikat (*unbraced length*) pada semua dimensi profil baja WF, beserta tata cara penggunaan grafik tersebut.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari desain grafik strength lentur pada balok ini adalah membuat grafik momen nominal sebagai fungsi dari *Unbraced length* sebagai acuan bagi para perencana dan pelaksana dalam melakukan pekerjaan perencanaan struktur baja, kemudian untuk mengarahkan terciptanya pekerjaan perencanaan baja yang memenuhi ketentuan minimum serta mendapatkan hasil pekerjaan struktur yang sesuai dengan SNI 03-1729-2002, serta agar para perencana struktur baja lebih mudah untuk menggunakan SNI 03-1729-2002 di dalam perhitungan perencanaannya.

I.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat batasan dan ruang lingkup yang akan dilakukan, diantaranya :

- a. Regulasi yang digunakan adalah SNI 03-1729-2002
- b. Standard perhitungan menggunakan metode LRFD
- c. Profil baja yang ditinjau adalah profil *Wide Flange* dengan Tegangan leleh baja yang digunakan tidak melebihi 450 MPa
- d. Struktur yang ditinjau adalah panjang efektif dari balok, Kekuatan yang diperhitungkan adalah kuat lentur (M_n), dengan asumsi Nilai $C_b = 1$
- e. Dimensi yang digunakan adalah dimensi profil baja yang diproduksi oleh Krakatau steel yang ada di pasaran Indonesia serta Material baja yang digunakan adalah material baja yang diproduksi oleh Krakatau steel yang ada di pasaran Indonesia

I.5 Metodologi Penelitian

Secara sederhana, balok sebagai elemen lentur digunakan sebagai elemen penting dalam konstruksi. Balok mempunyai karakteristik internal yang lebih rumit dalam memikul beban dibandingkan dengan jenis elemen struktur lainnya. Balok menerus dengan lebih dari dua titik tumpuan dan lebih dari satu tumpuan jepit merupakan struktur statis tak tentu. Struktur statis tak tentu adalah struktur yang reaksi, gaya geser, dan momen lenturnya tidak dapat ditentukan secara langsung dengan menggunakan persamaan keseimbangan dasar $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, dan $\sum F_z = 0$.

Penelitian dilakukan dengan menghitung nilai momen nominal dari seluruh dimensi untuk profil WF yang di produksi oleh PT.Krakatau Steel. Analisis dilakukan pada balok dengan panjang yang tak terkekang. Penampang-penampang baja profil WF dihitung berdasarkan dua kondisi yaitu kondisi penampang kompak dan tidak kompak. Penentuan penampang tersebut kompak atau tidak kompak berdasarkan nilai rasio λ , yaitu nilai rasio antara tebal sayap dengan tebal badan. Panjang dari balok juga berpengaruh terhadap penentuan nilai λ , sehingga mempengaruhi penentuan penampang kompak atau tidak kompak.

A. Studi Literatur

Studi Literatur diperlukan untuk mengetahui dasar-dasar teori dalam perhitungan momen nominal balok lentur. Literatur yang digunakan mencakup hasil dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menyangkut mencari nilai momen nominal balok lentur.

B. Pengumpulan data

Data yang diperlukan merupakan data dimensi dan mutu baja dari baja WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel. Data tersebut merupakan data properti material dan penampang dari baja profil WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel. Data tersebut diperlukan di dalam perhitungan momen nominal.

C. Analisis perhitungan

Dasar perhitungan adalah dari SNI baja tahun 2002 dengan membandingkan dengan dasar perhitungan yang dikeluarkan oleh AISC tahun 2010. Dari data yang didapat kemudian dilakukan analisis terhadap profil baja WF tersebut yang kemudian didapatkan nilai momen nominalnya.

D. Pemrograman komputer

Pemrograman komputer di dalam penelitian ini adalah dari hasil perhitungan momen nominal hasil analisis kemudian dijalankan di dalam program komputer untuk mendapatkan grafik hubungan antara momen nominal dan panjang profil tak terkekang.

E. Kesimpulan

Kesimpulan berisi grafik hubungan antara momen nominal dengan panjang profil tak terkekang beserta cara penggunaan grafik tersebut untuk memudahkan di dalam penggunaan SNI baja tahun 2002, serta membantu memberikan gambaran mengenai momen nominal dari profil baja WF.

I.6 Sistematika Penulisan

Secara sistematika, proposal penelitian ini akan dibagi menjadi beberapa bab yang akan memuat topik permasalahan yang akan dibahas. Sistematika penulisan yang terdapat dalam proposal ini adalah sebagai berikut :

Bab I: Pendahuluan

Bab ini berisikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan asumsi, metodologi penelitian serta sistematika penulisan yang akan dilakukan untuk penulisan proposal ini.

Bab II: Dasar Teori

Bab ini akan memaparkan teori mengenai perhitungan perencanaan struktur baja dengan menggunakan metode plastis atau *Load Resistance Factor Design* (LRFD). Studi literatur bersumber kepada teori para ahli yang tertuang melalui studi pustaka maupun internet.

Bab III: Metodologi Penelitian

Bab ini menguraikan tahapan-tahapan perhitungan yang digunakan untuk desain grafik strength lentur pada balok dengan menghitung nilai kuat lentur pada balok, serta tahapan-tahapan masukan data untuk program yang digunakan untuk menghasilkan grafik tersebut.

Bab IV: Hasil dan Pembahasan

Bab ini memaparkan hasil perhitungan dari grafik desain strength lentur pada balok dan grafik hasil keluaran dari komputer berdasarkan masukan data dari perhitungan pada bab sebelumnya serta tata cara penggunaan grafik tersebut. Hasil ini akan dibahas lebih lanjut berdasarkan studi literatur sesuai dengan hipotesa yang ditetapkan.

Bab V: Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

BAB II

DASAR TEORI

II.1 Teori Balok Umum

Balok merupakan elemen struktural yang sangat penting di dalam teknik. Bagian struktur yang langsing dan menahan beban yang diberikan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal disebut balok¹. Secara umum, balok memiliki bentang yang cukup panjang lurus dan memiliki luas potongan penampang yang konstan. Seringkali balok diklasifikasikan sebagaimana balok tersebut diberikan perletakan. Sebagai contoh, balok sederhana memiliki perletakan sendi di salah satu sisi dan rol di sisi lainnya. Kemudian balok kantilever memiliki satu perletakan jepit di salah satu sisi ujung dari balok tersebut. Serta balok overhanging memiliki bagian yang bebas melewati salah satu perletakan. Sebagaimana diketahui balok ditengarai merupakan bagian penting diantara bagian struktur lainnya.

Gaya dalam yang terjadi pada balok adalah geser dan momen yang disebabkan oleh arah beban yang bekerja pada balok tersebut. Secara umum bervariasi sepanjang bentang balok tersebut. Untuk mendesain balok dengan baik, sangat perlu untuk menghitung nilai geser dan lentur maksimum pada balok. Nilai geser dan momen ini dapat diplot dan direpresentasikan dengan grafik yang biasa disebut diagram geser dan momen. Nilai geser dan momen maksimum bisa didapat dari grafik tersebut, serta juga didapat variasi nilai geser dan momennya sepanjang bentang balok. Hal ini biasanya menjadi pertimbangan para desainer untuk mendesain kekuatan material dan material apa yang digunakan pada balok tersebut.

¹ Pembahasan mengenai bending chapter 6, section 6.1, Hibbeler, R.C. *Mechanics of Materials*, 8th Edition, Pearson Education, Inc. Upper saddle River, New Jersey, 2010.

II.2 Baja Struktural²

Selama periode pengenalan baja struktural sebagai bahan bangunan utama hingga tahun 1960, baja yang dipakai adalah baja karbon (*carbon steel*) dengan sebutan baja ASTM (American Society for Testing Materials) A7, dan mempunyai tegangan leleh minimum yang ditetapkan adalah sebesar 33 ksi. Di Indonesia pada umumnya diberikan dengan kode BJ37 dimana tegangan leleh minimum yang ditetapkan adalah sebesar 370 Mpa. Baja struktural yang lain, seperti baja paduan (*alloy*) rendah khusus tahan karat dan baja yang lebih mudah dilas telah ada di pasaran namun masih jarang digunakan untuk struktur. Perencanaan jembatan kadang-kadang memakai baja tersebut.

Pada masa sekarang banyaknya baja yang tersedia memungkinkan seorang perencana menaikkan kekuatan bahan pada daerah yang tegangannya besar sehingga tidak perlu memperbesar ukuran batang. Perencana dapat memutuskan berdasarkan mana yang lebih disukai, kekakuan maksimum atau berat ringan. Sifat bahan karat (untuk menghindari seringnya pengecatan) juga dapat merupakan faktor penting. Beberapa baja sekarang dioksidasi untuk membentuk lapisan pelindung yang padat. Lapisan ini mencegah oksidasi lebih lanjut dan mempunyai tekstur yang rata dengan warna merah-coklat tua yang menarik. Karena pengecatan tidak diperlukan, baja seperti ini (disebut baja lapuk/*weathering steel*) mungkin lebih ekonomis walaupun biaya awalnya agak lebih mahal daripada baja karbon tradisional.

Baja struktural ditunjukkan dengan identifikasi ASTM, dan juga dengan banyak sebutan lain. Untuk tujuan perencanaan, tegangan leleh tarik adalah besaran yang digunakan oleh spesifikasi, seperti AISC, sebagai variabel sifat bahan untuk menetapkan tegangan ijin terhadap pelbagai macam pembebanan. Istilah tegangan leleh dipakai sebagai kata umum untuk “titik leleh”, yaitu titik penyimpangan dari keadaan elastis sempurna yang dapat dilihat dengan jelas pada kebanyakan baja struktural; atau “kekuatan leleh”, yaitu tegangan pada regangan tetap tertentu untuk baja tanpa titik leleh yang jelas.

² Pembahasan mengenai baja dan sifat-sifatnya, Chapter 2, Charles G. Salmon and John E. Johnson, University of Wisconsin, *STEEL STRUCTURES. Design and Behavior*, 2nd Edition, Harper & Row, Publishers, Inc, Madison, 1980.

Keliatan (*toughness*) dan kekenyalan (*resilience*) merupakan ukuran kemampuan logam untuk menyerap energi mekanis. Untuk tegangan uniaksial (satu sumbu), besaran ini dapat diperoleh dari kurva uji tarik (tegangan-regangan teknik).

Kekenyalan berhubungan dengan penyerapan energi elastis suatu bahan. Kekenyalan (kadang-kadang disebut modulus kekenyalan) adalah jumlah energi elastis yang dapat diserap oleh satu satuan volume bahan yang dibebani tarikan; besarnya sama dengan luas bidang di bawah diagram tegangan regangan sampai tegangan leleh.

Keliatan berhubungan dengan energi total, baik elastis maupun inelastis, yang dapat diserap oleh satu satuan volume bahan sebelum patah. Untuk tarikan uniaksial, keliatan sama dengan luas bidang di bawah kurva tegangan-regangan tarik sampai titik patah (akhir dari diagram). Luas ini kadang-kadang disebut modulus keliatan. Karena deformasi semua bagian pada benda uji tarik tidak sama besar dan maksimum, luas tersebut hanya memberikan harga pendekatan bagi keliatan logam.

II.3 Baja Giling Panas³

II.3.1 Baja Karbon

Baja karbon mengandung antara lain karbon (1,7); mangan (1,65); silikon (0,60); dan tembaga (0,60). Karbon dan mangan adalah unsur utama untuk menaikkan besi murni. Baja ini dibagi menjadi baja karbon rendah (kurang dari 0,15% karbon); karbon lunak (0,15-0,29%); karbon sedang (0,30-0,59%); karbon tinggi (0,60-1,70%). Baja karbon struktural termasuk kategori karbon lunak; seperti baja A36 mengandung karbon maksimum berkisar antara 0,25 dan 0,29% tergantung pada ketebalannya. Penambahan persentase karbon menaikkan tegangan leleh tetapi mengurangi daktilitas (*ductility*) sehingga lebih sukar dilas.

³ Pembahasan mengenai baja dan sifat-sifatnya, Chapter 2, Charles G. Salmon and John E. Johnson, University of Wisconsin, *STEEL STRUCTURES. Design and Behavior*, 2nd Edition, Harper & Row, Publishers, Inc, Madison, 1980.

II.3.2 Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi

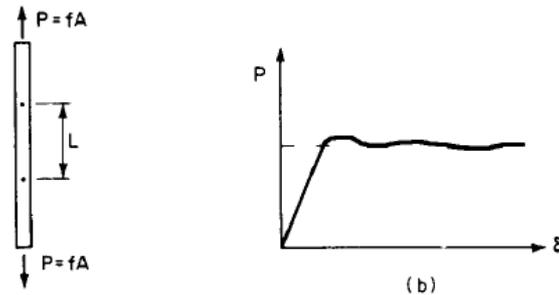
Baja kategori ini meliputi baja yang tegangan lelehnya berkisar antara 40 dan 70 ksi (275 Mpa dan 480 Mpa). Baja ini diperoleh dari baja karbon dengan menambah unsur paduan seperti chrom, columbium, tembaga, mangan, molybdenum, nikel, fosfor, vanadium, atau zirconium, agar beberapa sifat mekanisnya lebih baik. Sementara baja karbon mendapatkan kekuatan dengan menaikkan kandungan karbon, unsur paduan menaikkan kekuatan dengan memperhalus mikrostruktur yang terjadi selama pendinginan baja. Baja paduan rendah (*high-strength low-alloy steel*) dipakai pada kondisi penggilingan atau penormalan (tanpa perlakuan panas).

II.3.3 Baja Paduan

Baja paduan rendah dapat didinginkan di dalam air (*quenched*) dan dipanasi kembali (*tempered*) untuk memperoleh kekuatan leleh sebesar 8 sampai 110 ksi (550 sampai 760 Mpa). Kekuatan leleh biasanya didefinisikan sebagai tegangan pada regangan tetap 0,2%, karena baja ini tidak menunjukkan titik leleh yang jelas. Beberapa baja karbon, seperti beberapa baja tangki tekanan, dapat didinginkan dalam air dan dipanasi kembali untuk mendapatkan kekuatan leleh sebesar 80 ksi (550 Mpa), tetapi kebanyakan baja dengan kekuatan ini adalah baja paduan rendah. Baja paduan rendah ini umumnya mengandung karbon maksimal sebesar 0,2% untuk membatasi kekerasan mikrostruktur kasar (*martensit*) yang dapat terbentuk selama perlakuan panas atau pengelasan, sehingga bahaya retak diperkecil.

II.4 Diagram Tegangan-Regangan

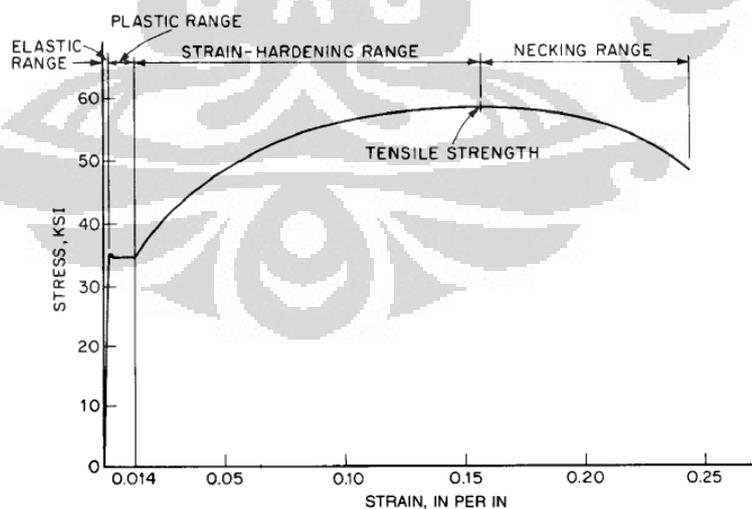
Apabila terdapat sebatang baja yang memiliki penampang konstan sepanjang bentangnya kemudian diberikan beban P . Didapat diagram tegangan – regangan sebagai berikut.

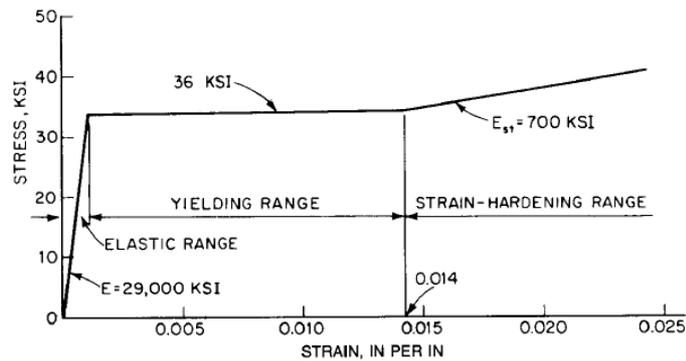


Gambar 2. 1 batang yang diberikan beban aksial dan grafik hubungan antara beban yang diberikan dengan perpindahan yang terjadi. (Segui, 2007)

Batang tersebut menahan gaya yang terjadi. Beban P kemudian ditingkatkan secara simultan dan dihitung lendutan yang terjadi dari panjang awalnya. Gambar di atas menunjukkan hubungan beban terhadap deformasi secara umum yang dihasilkan dari type test untuk material seperti di atas.

Dengan asumsi bahwa beban yang bekerja konsentris, maka regangan pada titik manapun sepanjang batang tersebut menjadi $\epsilon = \delta/L$ dan tegangan yang terjadi di titik manapun pada potongan penampang menjadi $f = P/A$. Di bawah kondisi ini kemudian dapat diplot hubungan antara tegangan dan regangan. Gambar di bawah ini merupakan grafik hubungan tegangan-regangan secara umum.





Gambar 2. 2 Gambar grafik hubungan tegangan regangan dan bagian-bagian dari grafik tersebut. (Brockenbrough & Merritt, 1999)

II.5 Angka Poisson

Bila tegangan diberikan di dalam salah satu arah, regangan akan timbul tidak hanya dalam arah tegangan yang diberikan tetapi juga dalam dua arah lainnya yang saling tegak lurus. Harga μ yang biasa digunakan diperoleh dari kondisi tegangan uniaksial dan sama dengan rasio antara tegangan transversal dan regangan longitudinal akibat beban. Untuk baja struktural, angka poisson mendekati 0,3 pada daerah elastis (di mana bahan dapat dimampatkan) dan mendekati 0,5 pada daerah plastis (di mana bahan tidak dapat dimampatkan; artinya daya tahan konstan tanpa memandang regangan).

II.6 Modulus Elastis Geser

Pembebanan geser murni menghasilkan kurva tegangan-regangan geser. Kemiringan bagian garis lurus pada kurva ini menyatakan modulus elastisitas geser. Jika angka poisson μ dan modulus elastisitas E diketahui, modulus geser (gelincir) G ditentukan dengan teori elastisitas sebagai.

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

Untuk baja struktural, harga G kira-kira 11000 ksi (75800 Mpa)⁴.

⁴ Pembahasan mengenai baja dan sifat-sifatnya, Chapter 2, Charles G. Salmon and John E. Johnson, University of Wisconsin, *STEEL STRUCTURES. Design and Behavior*, 2nd Edition, Harper & Row, Publishers, Inc, Madison, 1980.

II.7 Struktur Balok

Balok umumnya dipandang sebagai batang yang terutama memikul beban gravitasi transversal, termasuk momen ujung. Balok pada struktur dapat disebut sebagai gelagar (biasanya balok terpenting dengan jarak antara yang lebar); balok anak (joist/biasanya balok yang kurang penting dengan jarak antara yang rapat dan sering berbentuk rangka batang); gording (balok atap yang membentang antara rangka batang); balok dawai (stringer/balok jembatan longitudinal yang membentang antara balok-balok lantai); rusuk (girt/balok horizontal pada dinding terutama dipakai menahan momen lentur akibat angin pada sisi bangunan industri; umumnya menyanggah dinding seng/baja gelombang); dan balok ambang (lintels/batang yang menyanggah dinding di atas lubang jendela atau pintu), istilah lain seperti “*header*”, “*trimmer*” dan “*rafter*” kadang-kadang dipakai, tetapi identifikasi balok dengan istilah ini tidak berlaku umum.

Balok adalah gabungan dari elemen tarik dan elemen tekan. Konsep batang tarik dan tekan digabungkan di dalam pembahasan balok. Elemen tekan (sayap/*flange* tekan) yang ditopang (*braced*) secara integral dalam arah tegak lurus bidangnya oleh bagian badan/web (yang menghubungkannya ke sayap tarik yang stabil) juga dianggap memiliki sokongan sampint (lateral) dalam arah tegak lurus bidang sebadan. Jadi tekuk keseluruhan sayap tekan sebagai kolom tidak dapat terjadi sebelum kapasitas momen batas penampang tercapai.

Beban-beban yang bekerja pada balok antara lain beban sendiri balok, beban mati, beban hidup dsb. Jika bekerja beban aksial dengan nilai yang cukup besar maka balok tersebut bisa dikatakan sebagai balok-kolom. Tetapi pada umumnya efek dari beban aksial tersebut diabaikan dan bagian struktur tersebut hanya dihitung sebagai balok saja, karena deformasi aksial pada profil baja tidak terlalu signifikan dibandingkan deformasi akibat gaya yang tegak lurus sumbu batang. Suatu bagian struktur dikatakan balok apabila ia ketika dibebani menyebabkan lenturan.

Pengaruh gaya-dalam di sebagian atau seluruh struktur dapat ditetapkan menggunakan analisis plastis selama batasan pada SNI 03-1729-2002 dipenuhi. Distribusi gaya-gaya-dalam harus memenuhi syarat keseimbangan dan syarat batas.

Profil-profil baja yang ada di pasaran antara lain bentuk W, S, I, M, channel, dsb. Tetapi, Profil baja yang paling banyak digunakan untuk struktur dengan beban-beban besar yang bekerja pada struktur adalah bentuk profil W (*Wide Flange*). Karena profil WF tersebut memiliki momen Inersia yang cukup besar dibandingkan bentuk profil lainnya, serta profil WF merupakan profil yang simetris. Profil WF tersebut pada umumnya dipakai pada bangunan gedung.

Di dalam AISC (*American Institute of Steel Construction*) pembahasan untuk balok ada di dalam Bab F “Desain bagian struktur lenturan”. Di dalam bab F ditentukan bagaimana menghitung nilai M_n berdasarkan properti penampang profil.

Berdasarkan AISC “*LRFD spesification for structural steel buildings*” nilai momen nominal adalah

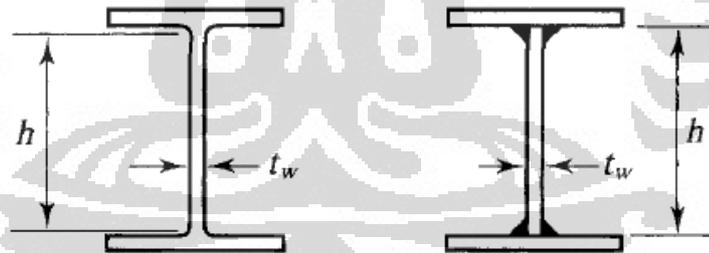
$$M_u \leq \Phi_b M_n \quad (2.1)$$

Dimana

M_u = Kekuatan Momen yang dibutuhkan (momen maksimum yang dihasilkan dari kontrol kombinasi beban (ASCE 7))

Φ_b = Faktor Reduksi untuk balok lentur (0,9)

M_n = Momen Nominal



Gambar 2. 3 Dimensi Profil Baja *Wide Flange*. (Segui, 2007)

II.8 Tegangan Lentur dan Momen Plastis

Dalam menghitung nilai momen nominal M_n , diperlukan analisis terhadap balok lentur pada saat beban diberikan pada balok tersebut, beban kemudian besarnya ditingkatkan hingga balok tersebut mengalami keruntuhan atau tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja karena tegangan yang dihasilkan dari beban tersebut sudah melebihi tegangan leleh maupun tegangan putus dari baja

tersebut. Analisis ini merupakan analisis dengan metode plastis dimana kekuatan nominal baja dihitung hingga keadaan Ultimate.

Dari hasil pertimbangan balok tersebut, dimana balok menggunakan sumbu kuat sebagai sumbu x pada profil WF, dan sumbu y sebagai sumbu lemah. Sebagai acuan momen Inersia dapat menggunakan sumbu kuat dan sumbu lemah tersebut. Untuk material yang elastis dan memiliki deformasi cenderung kecil, distribusi tegangan lentur dapat diasumsikan seragam sepanjang bentang dari balok tersebut. Karena sepanjang balok tersebut, dimensi profil cenderung konstan maka luas penampang profil pada potongan profil di titik manapun pada balok bernilai tetap. Berdasarkan mekanika benda padat, tegangan pada titik di mana saja dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\int_{C_b}^{C_t} f(y) dA = \int_{C_b}^{C_t} F(y) b(y) dy = 0 \quad (2.2)$$

$$F(y) = \frac{F_t}{C_t} y \quad (2.3)$$

Dimana,

F_t = Tegangan pada serat terluar balok

Y = Jarak dari garis netral.

dA = Luas pada potongan penampang yang berada pada jarak y dari garis netral.

$B(y)$ = Lebar balok pada jarak y dari garis netral

$F(y)$ = Tegangan normal pada jarak y dari garis netral

C_b = Jarak dari garis netral ke serat terluar bagian bawah

C_t = Jarak dari garis netral ke serat terluar bagian atas

Substitusi persamaan (2.2) ke (2.3), maka

$$\int_{C_b}^{C_t} \frac{F_t}{C_t} y b(y) dy = \frac{F_t}{C_t} \int_{C_b}^{C_t} y b(y) dy = 0 \quad (2.4)$$

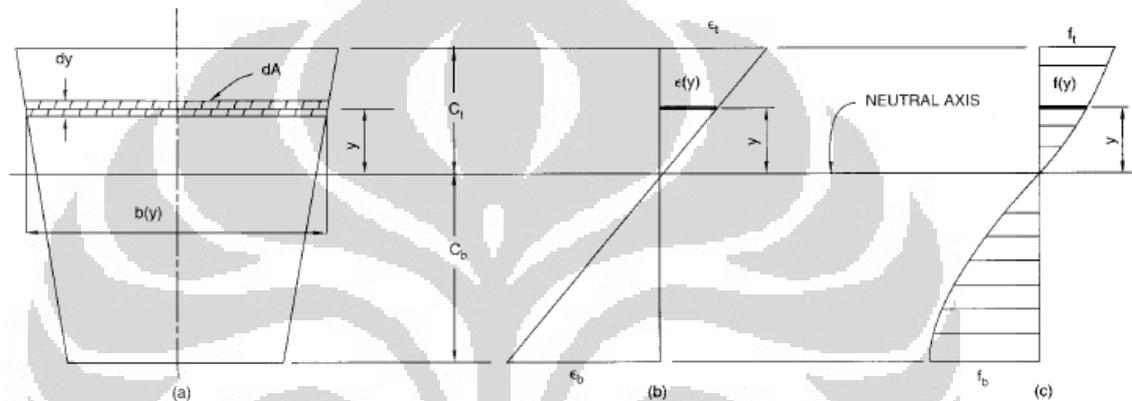
Persamaan (2.4) menjelaskan hubungan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi garis netralnya. 'Biasanya garis netral berhimpit dengan garis

centroid atau pusat titik massa⁵. Momen M pada potongan penampang ini bisa dihitung dari tegangan $f(y)$;

$$M = \int_{C_b}^{C_t} f(y)b(y)y \, dy \quad (2.5)$$

Substitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.5), maka

$$M = \int_{C_b}^{C_t} \frac{F_t}{C_t} b(y)y^2 \, dy = \frac{F_t}{C_t} \int_{C_b}^{C_t} b(y)y^2 \, dy = f_t \frac{I}{C_t} \quad (2.6)$$



Gambar 2.4 (a) Potongan penampang baja simetris, (b) distribusi regangan linear, (c) distribusi tegangan nonlinear. (Brockenbrough & Merritt, 1999)

Dimana, $\int_{C_b}^{C_t} b(y)y^2 \, dy = I =$ Momen inersia pada potongan penampang dari garis netral. Faktor I/c_t adalah modulus penampang S_t dari serat terluar. Substitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.6) menghasilkan,

$$f_b = \frac{My}{I_x} \quad (2.7)$$

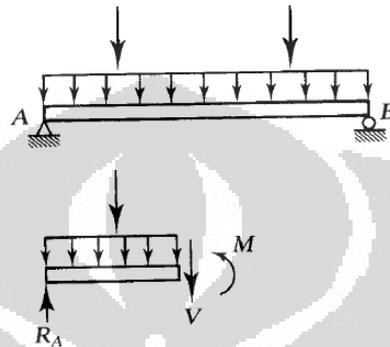
Lentur pada keadaan plastis terjadi di mana balok memiliki beban yang berat, kemudian seluruh material pada potongan penampang mencapai tegangan leleh f_y . Walaupun regangannya masih bervariasi terhadap tinggi profil, maka distribusi tegangan tidak menjadi linear. Hal ini mengakibatkan momen plastis yaitu.

⁵ Pembahasan mengenai perilaku dasar struktur, Chapter 3.16 Bending Stresses and Strains in Beams, Chapter 3 General Structural Theory, Ziemian, Ronald D. Ph.D. Structural Steel Designer's Handbook / Roger L. Brockenbrough, editor, Frederick S. Merritt, editor.-3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1999

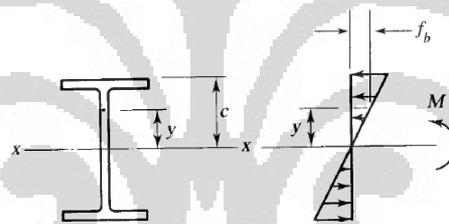
$$M_p = f_y \int_0^{C_t} b(y)y \, dy + f_y \int_0^{C_b} b(y)y \, dy = ZF_y \quad (2.8)$$

Dimana $\int_0^{C_t} b(y)y \, dy + \int_0^{C_b} b(y)y \, dy = Z$ adalah modulus penampang plastis. Untuk penampang persegi.

$$M_p = bfy \int_0^{h/2} y \, dy + bfy \int_0^{-h/2} y \, dy = \frac{bh^2}{4} F_y \quad (2.9)$$



Gambar 2. 5 Gaya Dalam pada Balok. (Segui, 2007)



Gambar 2. 6 Distribusi tegangan lentur pada potongan penampang balok. (Segui, 2007)

Dimana M adalah momen pada potongan penampang yang ditinjau, y adalah jarak dari garis netral ke titik yang ditinjau, dan I_x adalah Momen Inersia dari luas area pada potongan penampang yang ditinjau pada sumbu x atau sumbu kuat dimana arah beban bekerja pada sumbu tersebut. Untuk material yang homogen, garis netral berhimpit dengan garis centroid. Rumus di atas berdasarkan asumsi bahwa penampang pada potongan tidak akan berubah setelah mengalami lenturan, atau masih dalam keadaan elastis. Sebagai tambahan, potongan penampang pada balok harus memiliki sumbu vertikal yang simetris dan beban-beban harus tegak lurus terhadap garis netral balok. Tegang maksimum terjadi pada serat terluar, dimana y maksimum. Tegang lentur mengakibatkan terjadi dua macam tegangan, yaitu tegangan tekan maksimum terdapat di serat bagian atas dan tegangan tarik maksimum terdapat di serat bagian bawah (apabila momen yang terjadi pada

balok akibat gaya luar adalah momen positif). Apabila penampang baja merupakan penampang yang simetris maka untuk menghitung tegangan maksimum dapat menggunakan rumus,

$$f_{\max} = \frac{Mc}{I_x} = \frac{M}{\frac{I_x}{c}} = \frac{M}{S_x} \quad (2.10)$$

Dimana c adalah jarak dari garis netral ke serat terluar, dan S_x adalah modulus elastis penampang pada potongan penampang. Untuk berbagai bentuk potongan penampang, modulus elastis penampang cenderung konstan. Untuk penampang tidak simetris, S_x akan memiliki dua nilai yaitu nilai untuk serat paling atas dan untuk serat paling bawah. Nilai S_x standar biasanya diberikan pada tabel penampang profil baja.

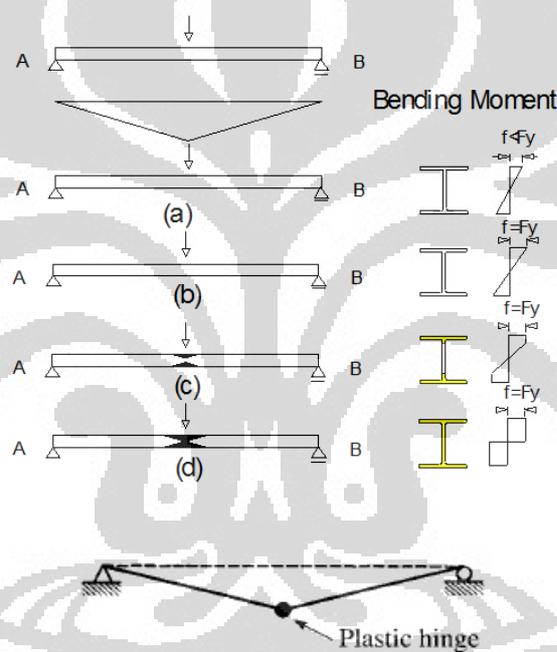
Di dalam keadaan yang disebutkan di atas, rumus-rumus yang diberikan berlaku apabila material masih dalam kondisi elastis. Di dalam baja, hal ini berarti bahwa tegangan maksimum f_{\max} tidak boleh melebihi F_y dan momen lentur tidak boleh melebihi,

$$M_y = F_y S_x \quad (2.11)$$

Dimana M_y adalah Bending momen yang menyebabkan balok pada titik lelehnya.

Pada balok diantara dua tumpuan sederhana dengan beban terpusat yang berada tepat di tengah bentang menunjukkan beberapa tahapan deformasi yang signifikan terhadap balok dengan nilai beban yang ditingkatkan. Ketika balok mulai mengalami leleh, distribusi tegangan pada penampang profil baja tidak akan menjadi linear dan kelelahan akan terjadi dari serat paling atas hingga ke garis netral. Daerah yang mengalami leleh akan semakin besar hingga mencapai garis netral pada saat momen akibat gaya luar mencapai momen leleh baja dan fase terakhir adalah baja mengalami leleh secara menyeluruh sehingga tidak mampu lagi menahan beban luar. Pada saat yang bersamaan, area yang mengalami tegangan leleh terjadi secara tegak lurus dari titik pusat balok saat momen mencapai M_y pada lokasi-lokasi lainnya. 'Momen tambahan diperlukan untuk mengubah fase balok dari fase ketika mulai mengalami leleh di sebagian badannya (web) hingga mengalami leleh secara keseluruhan. Momen tersebut

berkisar antara 10 s/d 20 % dari momen leleh, M_y , untuk profil W^6 . Ketika mencapai fase dimana profil baja mengalami leleh secara keseluruhan, ketika beban ditingkatkan kembali maka profil tersebut akan mengalami keruntuhan atau putus. Pada fase tersebut balok mengalami fase dimana sering disebut sebagai sendi plastis. Sendi plastis terbentuk pada tengah bentang balok, dan sendi ini bersamaan dengan sendi yang ada di antara balok tersebut sebagai tumpuan akan mengalami mekanisme tidak stabil. Selama proses terbentuknya sendi plastis tersebut, perubahan mekanisme ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Analisis struktur berdasarkan pertimbangan mekanisme keruntuhan ini dinamakan analisis plastis.



Gambar 2. 7 Kondisi sendi plastis. (Segui, 2007)

Kapasitas Plastis, dimana nilai momen yang dibutuhkan untuk merubah kondisi elastis hingga kondisi plastis, dapat dengan mudah dihitung dari pertimbangan distribusi tegangan. Pada resultan tegangan tarik dan tegangan tekan, dimana A_c adalah area pada potongan penampang yang mengalami tekan, dan A_t area yang mengalami tarik. Area-area ini berada di atas dan di bawah garis

⁶ penjelasan mengenai proses terbentuknya sendi plastis pada balok dengan profil penampang Wide Flange. Chapter 5 beams, segui, william T. Steel Design, Fourth Edition, Nelson, a division of Thomson Canada, Limited, 2007

netral plastis, dimana belum tentu sama dengan garis netral elastis. Dari prinsip kesetimbangan didapatkan,

$$C=T \quad (2.12)$$

$$A_c F_y = A_t F_y \quad (2.13)$$

$$A_c = A_t \quad (2.14)$$

Kemudian, garis netral plastis membagi potongan penampang menjadi dua luasan yang sama. 'Untuk profil yang simetris terhadap sumbu momen bending, sumbu elastis dan plastis adalah sama'⁷. Momen Plastis M_p , adalah Momen tahanan dari dua tegangan pada balok tersebut yaitu tegangan tarik dan tegangan tekan, yaitu:

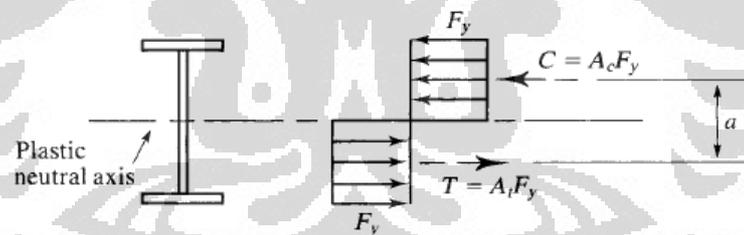
$$M_p = F_y \cdot (A_c) \cdot a = F_y \cdot (A_t) \cdot a = F_y \cdot \left(\frac{A}{2}\right) \cdot a = F_y \cdot Z \quad (2.15)$$

Dimana,

A = Luas total Area potongan penampang

a = jarak antara centroid dengan dua bagian area yang sama besar.

$z = \left(\frac{A}{2}\right) a$ = Modulus Penampang Plastis



Gambar 2. 8 Resultan tegangan tekan dan tegangan tarik. (Segui, 2007)

II.9 Stabilitas

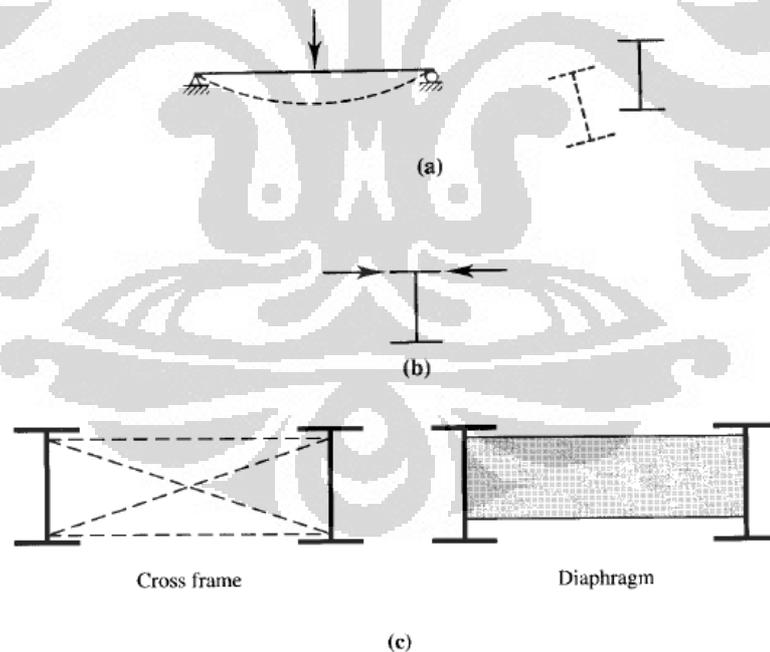
Jika suatu balok dapat diperkirakan tetap stabil pada kondisi plastis, momen nominal dapat diambil sebesar kapasitas momen plastisnya, yaitu.

$$M_n = M_p \quad (2.16)$$

Di kondisi lain, M_n akan lebih kecil daripada M_p .

⁷ Pembahasan mengenai sendi plastis pada penampang yang simetris, Chapter 5 Beams, segui, william T. Steel Design, Fourth Edition, Nelson, a division of Thomson Canada, Limited, 2007

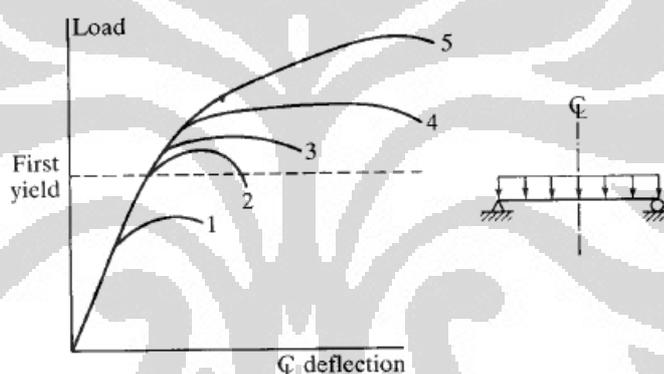
Sama dengan profil baja yang mengalami tekan, ketidakstabilan dapat terjadi secara keseluruhan atau hanya terjadi setempat saja. Tekuk secara keseluruhan digambarkan pada gambar 2.9a. ketika balok mengalami lentur, dan sifatnya menyerupai kolom, besarnya gaya tekan pada potongan penampang dapat dilihat pada besarnya tegangan tekan yang terjadi dan lendutan akibat lentur yang diakibatkan oleh putaran (torsi). Bentuk ketidakstabilan ini dinamakan *Lateral-torsional buckling (LTB)*. *Lateral-torsional buckling* dapat dicegah dengan cara mengekang baja pada arah putaran momen torsinya dengan jarak yang efisien. Pengekangan baja dibagi menjadi dua yaitu, pengekang lateral (gambar 2.9b) dan pengekang torsi (gambar 2.9c). Pengekang lateral sebagai penahan translasi lateral, harus dipasang sedekat mungkin dengan flens yang mengalami tekan. Pengekang torsi yang secara langsung menahan torsi dapat dipasang pada titik-titik tertentu atau kontinu, dan hal tersebut bisa berbentuk pengekang silang pada portal atau diafragma. Nilai kuat momen tergantung pada panjang yang tak terkekang, yaitu jarak antara titik yang terkekang.



Gambar 2. 9 Lateral-torsional buckling (a), Pengekang lateral (b), Pengekang torsi (c).
(Segui, 2007)

Walaupun balok dapat menahan momen yang cukup besar hingga mencapai kondisi plastis keseluruhan, hal lain yang juga berpengaruh adalah integritas potongan penampang sangat diperhatikan. Integritas ini akan hilang apabila salah satu dari elemen tekan pada potongan penampang mengalami tekuk. Tipe tekuk ini yang juga merupakan tekan pada flens dinamakan *Flange local buckling* (FLB), atau tekuk pada daerah tekan pada sebagian web dinamakan *Web local buckling* (WLB). Kedua tipe tekuk tersebut tergantung kepada lebar-tebal rasio pada elemen tekan di potongan penampang.

Gambar di bawah ini menggambarkan efek dari *local* dan *lateral-torsional buckling*. Lima balok yang berlainan digambarkan pada grafik di bawah ini. Grafik tersebut menggambarkan hubungan beban dengan lendutan pada tengah bentang.



Gambar 2. 10 Grafik hubungan beban dengan lendutan pada tengah bentang. (Segui, 2007)

Kurva 1 adalah kurva beban versus lendutan pada balok yang mengalami ketidakstabilan (dalam berbagai kondisi) dan berkurangnya kapasitas gaya yang dapat ditahan oleh balok tersebut sebelum hingga akhirnya mengalami kelelahan. Kurva 2 dan 3 menggambarkan balok yang masih dapat dibebani setelah mengalami leleh tetapi tidak terlalu jauh dari formasi sendi plastis sehingga menghasilkan keruntuhan dalam kondisi plastis. Jika keruntuhan plastis terjadi, kurva beban versus lendutan akan digambarkan seperti pada kurva 4 atau kurva 5. Kurva 4 adalah untuk kasus momen yang seragam sepanjang bentang balok, dan kurva 5 menggambarkan balok dengan momen yang tidak seragam (momen gradien). Desain yang aman dapat dilakukan terhadap kondisi-kondisi balok

tersebut dengan berbagai tipe kurva, tetapi kurva 1 dan 2 menggambarkan penggunaan material yang kurang efisien.

II.10 Klasifikasi Bentuk

AISC mengklasifikasikan Bentuk potongan penampang sebagai kompak, non-kompak atau langsing, tergantung kepada perbandingan antara lebar dan tebal profil. Untuk penampang I, perbandingan untuk flens yang tidak diperkaku adalah $bf/2t_f$, dan perbandingan untuk web (elemen yang diperkaku) adalah h/t_w . Kesimpulannya adalah sebagai berikut,

λ = Perbandingan antara lebar dengan tebal profil

λ_p = Batas atas untuk kategori kompak

λ_r = Batas atas untuk kategori non-kompak

Kemudian,

Jika $\lambda \leq \lambda_p$ dan flens terkoneksi dengan web secara kontinu, maka termasuk penampang kompak.

Jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ dan flens terkoneksi dengan web secara kontinu, maka termasuk penampang kompak.

Jika $\lambda \leq \lambda_r$ maka termasuk penampang langsing.

Di dalam SNI 03-1729-2002, penentuan penampang profil ditentukan sebagai berikut.

Tabel 1 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan. (SNI 03 - 1729, 2002)

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 dan kanal dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_y}[c]$	$370/\sqrt{f_y-f_r}[e]$
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok terusun yang di las dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_{yf}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_{yf}-f_r)/k_e}}[e][f]$
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur terusun	b/t	-	$290/\sqrt{f_y/k_e}[f]$

dalam tekan			
Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponene 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 dari 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	b/t	-	$335/\sqrt{F_y}$
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 akibat lentur [a]	h/tw	$1680/\sqrt{f_y}$ [c]	$2550/\sqrt{f_y}$ [g]
Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	h/tw	Untuk $N_u/\phi_b N_y \leq 0,125$ [c] $\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75N_u}{\phi_b N_y} \right]$	[g] $\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75N_u}{\phi_b N_y} \right]$
		Untuk $N_u/\phi_b N_y > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	
Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua	b/t h/tw	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$

sisinya			
Penampang bulat berongga	D/t	[d]	
Pada tekan aksial		-	22000/fy
Pada lentur		14800/fy	62000/fy
[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_{yf} sebagai ganti f_y .		[e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang dirol = 115 MPa untuk penampang dilas	
[b] Ambil luas neto plat pada lubang terbesar.			
[c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3. Untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.		[f] $K_e = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ tapi, $0,35 \leq K_e \leq 0,763$	
[d] Untuk perencanaan plastis gunakan $9.000/f_y$.		[g] f_y adalah tegangan leleh minimum.	

Kategori ini berdasarkan kepada perbandingan lebar dan tebal paling kritis pada potongan penampang. Sebagai contoh, jika web merupakan penampang kompak dan flens merupakan penampang non kompak. Di dalam AISC penentuan penampang kompak atau non-kompak untuk potongan penampang *hot-rolled I-shapes*, adalah.

Tabel 2 Tabel parameter perbandingan lebar dengan tebal profil. (Segui, 2007)

Element	λ	λ_p	λ_r
Flange	$\frac{b_f}{2t_f}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

II.11 Kuat Lentur Penampang Kompak.

Suatu balok dapat runtuh ketika mencapai M_p dan menjadi plastis secara keseluruhan, atau balok juga dapat runtuh akibat:

1. *Lateral-torsional buckling* (LTB), baik elastis atau inelastis;
2. *Flange local buckling* (FLB), baik elastis maupun inelastis;
3. *Web local buckling* (WLB), baik elastis maupun inelastis.

Jika tegangan lentur maksimum kurang dari batas proporsional ketika mulai terjadi tekuk, keruntuhan dapat dikatakan keruntuhan elastis. Kondisi sebaliknya disebut inelastis.

Untuk keamanan, hal yang pertama kita lakukan adalah mengkategorikan balok sebagai kompak, non-kompak atau langsing, dan kemudian mendeterminasikan momen tahanan berdasarkan jumlah tahanan lateral. Di dalam penelitian ini membahas kelenturan penampang I kerja panas pada sumbu kuat dan dibebani pada sumbu lemah.

Kita mulai pada penampang kompak, pertama defenisikan penampang tersebut memiliki web yang secara kontinu terkoneksi dengan flens dan memenuhi persyaratan perbandingan antara lebar dengan tebal baik untuk web dan flens.

$$\frac{bf}{2tf} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{dan} \quad \frac{h}{tw} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Kriteria web harus memenuhi semua standard untuk penampang I yang ada di Manual untuk $F_y \leq 65 \text{ Ksi}$. kemudian, di dalam banyak kasus hanya perbandingan untuk flens saja yang perlu diperhitungkan⁸. Kebanyakan penampang juga memenuhi standar untuk flens dan kemudian dapat dikategorikan sebagai penampang kompak. Penampang non-kompak diidentifikasi dari dimensi dan tabel properti penampang. Perlu dieprtimbangkan bahwa profil penampang baja untuk tekan memiliki kriteria berbeda dengan profil penampang baja untuk lentur, jadi penampang bisa dikategorikan kompak untuk lentur namun langsing untuk tekan. Jika suatu balok merupakan penampang kompak dan memiliki pengekang lateral yang menerus, atau bisa dikatakan bahwa panjang tak terkekangnya sangat pendek, nilai momen nominalnya adalah M_n , serta kapasitas momennya jika dalam keadaan plastis secara keseluruhan adalah M_p . Untuk profil baja dengan pengekang lateral yang tidak terlalu baik, momen tahanannya dibatasi hanya di *kuat Lateral-torsional buckling* saja. Baik elastis maupun inelastis.

Kategori pertama, balok kompak dengan pengekang lateral yang sangat umum dan hal ini adalah kasus sederhana. Nilai momen nominalnya adalah;

⁸ Perlu diingat bahwa penampang I yang dibuat sendiri dengan menggabungkan beberapa pelat dengan sambungan las apabila dimensi yang diperlukan tidak diproduksi oleh pabrik, maka penampang tersebut bisa berupa penampang non-kompak atau web langsing.

$$M_n = M_p \quad (2.17)$$

Dimana,

$$M_p = F_y Z_x \quad (2.18)$$

Kita dapat memformulasikan nilai tegangan ijin yang tidak memerlukan pendekatan jika kita menggunakan modulus penampang plastis daripada modulus penampang elastis. Dari,

$$\frac{M_n}{\Omega_b} \geq M_a \quad (2.19)$$

Dan

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{F_y Z_y}{1,67} = 0,6 F_y Z_x \quad (2.20)$$

Maka nilai modulus penampang plastisnya adalah

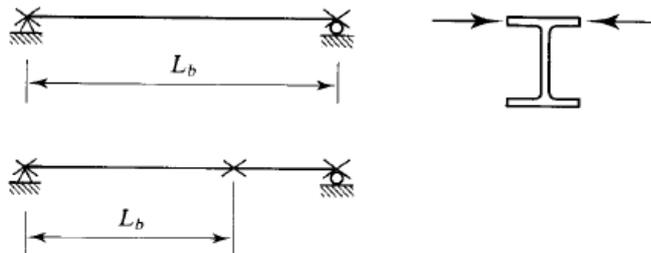
$$Z_x \geq \frac{M_a}{0,6 F_y} \quad (2.21)$$

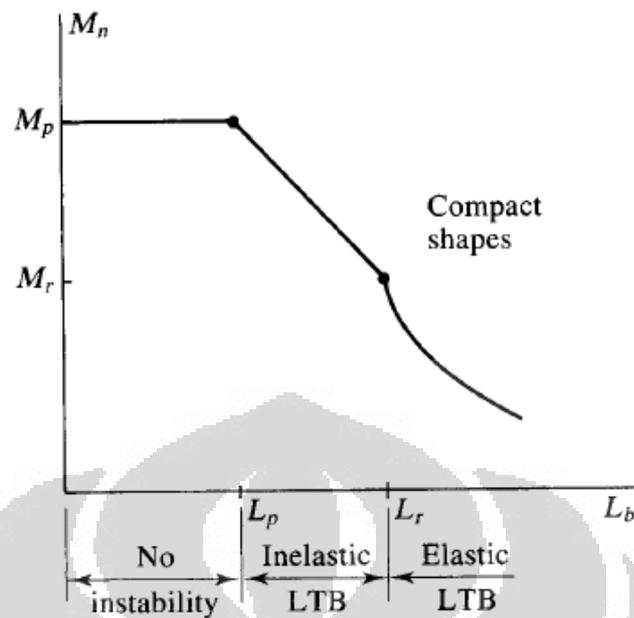
Lalu, jika nilai tegangan lenturnya berdasarkan modulus penampang plastis Z_x ,

$$f_b = \frac{M_a}{Z_x} \text{ dan } F_b = 0,6 F_y \quad (2.22)$$

Pendekatan ini sangat berguna dalam mendesain balok dengan penampang kompak yang memiliki pengekang lateral.

Nilai momen tahanan untuk penampang kompak adalah fungsi dari panjang tak terkekang, L_b , yang didefinisikan sebagai jarak antara titik-titik yang diberi pengekang lateral atau *bracing*. Hubungan antara nilai momen nominal M_n dan panjang tak terkekang digambarkan pada grafik di bawah ini. Jika panjang tak terkekang kurang dari L_b , maka balok diasumsikan memiliki pengekang lateral yang menerus dan $M_n = M_p$. Jika L_b lebih besar daripada L_p tetapi kurang dari atau sama dengan parameter L_r , kekuatannya berdasarkan kondisi LTB Inelastis. Jika L_b lebih besar daripada L_r , maka kekuatannya berdasarkan LTB elastis.





Gambar 2. 11 grafik hubungan antara M_n dengan L_b (panjang balok tak terkekang). (Segui, 2007)

Persamaan untuk kuat lateral-torsional buckling elastis secara teoritis dapat ditemukan di dalam *Theory of Elastic Stability* (timoshenko and Gere, 1961). Dengan beberapa perubahan notasi maka nilai momen nominalnya adalah.

$$M_n = F_{cr} S_x \quad (2.23)$$

Dimana F_{cr} adalah tegangan tekuk elastis dan dapat dicari dengan menggunakan rumus,

$$F_{cr} = \frac{\pi}{L_b S_x} \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w}, \text{ satuan dalam ksi} \quad (2.24)$$

Dimana

L_b = Panjang tak terkekang (in)

I_y = Momen inersia pada sumbu lemah di potongan penampang (in⁴)

G = Modulus Geser baja struktural = 11200 ksi

J = *Torsional Constant* (in⁴)

C_w = *Warping Constant* (in⁶)

Di dalam SNI-03-1729-2002 diatur sebagai berikut,

Tabel 3 Momen kritis untuk tekuk lateral. (SNI 03 -1729, 2002)

Profil	M_{cr}
Profil I dan kanal ganda	$C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y I_w}$
Profil kotak pejal atau berongga	$2C_b E \frac{\sqrt{JA}}{L/r_y}$

Persamaan di atas berlaku sepanjang momen bending bekerja seragam sepanjang panjang tak terkekang (momen yang tidak seragam dipengaruhi nilai C_b). 'Jika momen yang bekerja pada panjang L_b yaitu pada panjang tak terkekang maka tidak terjadi gradien momen sehingga nilai $C_b = 1$ '⁹. Spesifikasi AISC berbeda namun mendekati, bentuk dari tegangan tekuk elastis F_{cr} , AISC memberikan rumus,

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (2.25)$$

dimana

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi E}{(L_b/r_{ts})^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (2.26)$$

Dan

C_b = Faktor untuk menghitung momen lentur tidak seragam dengan panjang tak terkekang L_b .

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (2.27)$$

c = 1,0 untuk penampang I

h = jarak antara centroid flens = $d - t_f$

Jika nilai momen pada saat terjadi *lateral-torsional buckling* lebih besar daripada momen pada kondisi leleh yang pertama, kuat nominalnya berdasarkan perilaku inelastis. Dan nilai momen pada kelelahan pertama adalah,

$$M_r = 0,7 F_y S_x \quad (2.28)$$

Dimana tegangan leleh telah direduksi hingga 30% untuk menghitung efek dari tegangan sisa. Batas antara perilaku elastis dan inelastis adalah L_r pada panjang

⁹ penjelasan mengenai perhitungan momen nominal pada profil penampang Wide Flange. Chapter 5 beams, segi, William T. Steel Design, Fourth Edition, Nelson, a division of Thomson Canada, Limited, 2007

tak terkekang, dimana nilai L_b didasarkan kepada persamaan AISC ketika F_{cr} sama dengan $0,7F_y$ ketika $C_b = 1,0$ maka persamaannya menjadi;

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y S_x h_o}{E J_c} \right)^2}} \quad (2.29)$$

Sama dengan kolom, tekuk inelastis pada balok lebih rumit daripada tekuk elastis dan rumus empiris seringkali digunakan. Rumus yang sering digunakan oleh AISC adalah,

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2.30)$$

Dimana $0,7F_y S_x$ adalah momen leleh dengan memperhitungkan tegangan sisa dan

$$L_p = 1,76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.31)$$

Di dalam SNI 03-1729-2002 untuk bentang dengan pengekangan lateral adalah,

Tabel 4 Bentang untuk pengekangan lateral. (SNI 03 -1729, 2002)

Profil	L_p	L_r
Profil-I dan kanal ganda	$1,76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ dengan $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ Adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah.	$r_y \left[\frac{X1}{fL} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X2fL^2}}$ Dengan $fL = f_y - f_r$ $X1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X2 = 4 \left(\frac{S}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$ I_w adalah konstanta puntir lengkung J adalah konstanta puntir torsi
Profil kotak pejal atau berongga	$0,13E_r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$	$2E_r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$

II.12 Kuat Lentur Penampang non-kompak

Sebagaimana diketahui bahwasannya penampang standar W, M, S dan C adalah penampang kompak. Beberapa yang lainnya adalah non kompak karena perbandingan lebar dengan tebal flens, tetapi tidak langsing.

Secara garis besar, balok non-kompak akan mengalami keruntuhan akibat *lateral-torsional buckling*, *flange local buckling* atau *local buckling*. Beberapa diantaranya runtuh baik pada kondisi batas elastis atau batas inelastis. Kuat lentur yang disyaratkan kepada tiga kondisi tersebut harus dihitung dan nilai yang paling kecil yang diambil sebagai desain kuat nominal.

Berdasarkan AISC untuk *flange local buckling* jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ maka flensnya termasuk non-kompak dan tekuk dalam keadaan inelastis.

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (2.32)$$

Dimana

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (2.33)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.34)$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.35)$$

Web untuk semua penampang dengan kerja panas di dalam Manual adalah kompak, maka penampang non-kompak hanya di dalam batasan *lateral-torsional buckling* dan *flange local buckling*. Penampang yang dibuat sendiri dengan menggabungkan beberapa pelat, badannya bisa termasuk non-kompak atau langsing sebagaimana pada flens, misalnya pada *plate girders*.

Sedangkan untuk *lateral-torsional buckling* dihitung berdasarkan panjang bentang balok tak terkekang, yaitu:

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.36)$$

Jika $L_b \leq L_p$, maka tidak terjadi LTB

Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka terjadi LTB inelastis dan untuk menghitung momen nominalnya menggunakan rumus

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2.37)$$

Jika $L_b > L_r$, maka terjadi LTB elastis dan rumus momen nominalnya adalah

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (2.38)$$

Dimana

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b/r_{ts})^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (2.39)$$

II.13 Batasan di dalam SNI 03-1729-2002

Bila metode plastis digunakan, semua persyaratan di bawah ini harus dipenuhi, yaitu:

- a) Tegangan leleh baja yang digunakan tidak melebihi 450 MPa;
- b) Pada daerah sendi plastis, tekuk setempat harus dapat dihindari dengan mensyaratkan bahwa perbandingan lebar terhadap tebal, b/t , lebih kecil daripada λ_p . Nilai λ_p tersebut ditetapkan sesuai dengan Tabel SNI 03-1729-2002;
- c) Pada rangka dengan bresing, gaya aksial tekan terfaktor pada kolom yang diakibatkan oleh beban gravitasi terfaktor dan beban horizontal terfaktor tidak diperkenankan melampaui $0,85 A b f_y$. Pada rangka tanpa bresing, gaya aksial tekan terfaktor pada kolom yang diakibatkan oleh beban gravitasi terfaktor dan beban horizontal terfaktor tidak diperkenankan melampaui $0,75 A b f_y$;
- d) Parameter kelangsingan kolom λ_c tidak boleh melebihi 1,5 k_c . Nilai k_c ditetapkan di dalam SNI 03-1729-2002;
- e) Untuk komponen struktur dengan penampang kompak yang terlentur terhadap sumbu kuat penampang, panjang bagian pelat sayap tanpa pengekang lateral, L_b , yang mengalami tekan pada daerah sendi plastis yang mengalami mekanisme harus memenuhi syarat $L_b \leq L_{pd}$, yang ditetapkan berikut ini:
 - (i) Untuk profil-I simetris tunggal dan simetris ganda dengan lebar pelat sayap tekan sama dengan atau lebih besar daripada lebar pelat sayap tarik dan dibebani pada bidang pelat sayap.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Sistematika Penelitian

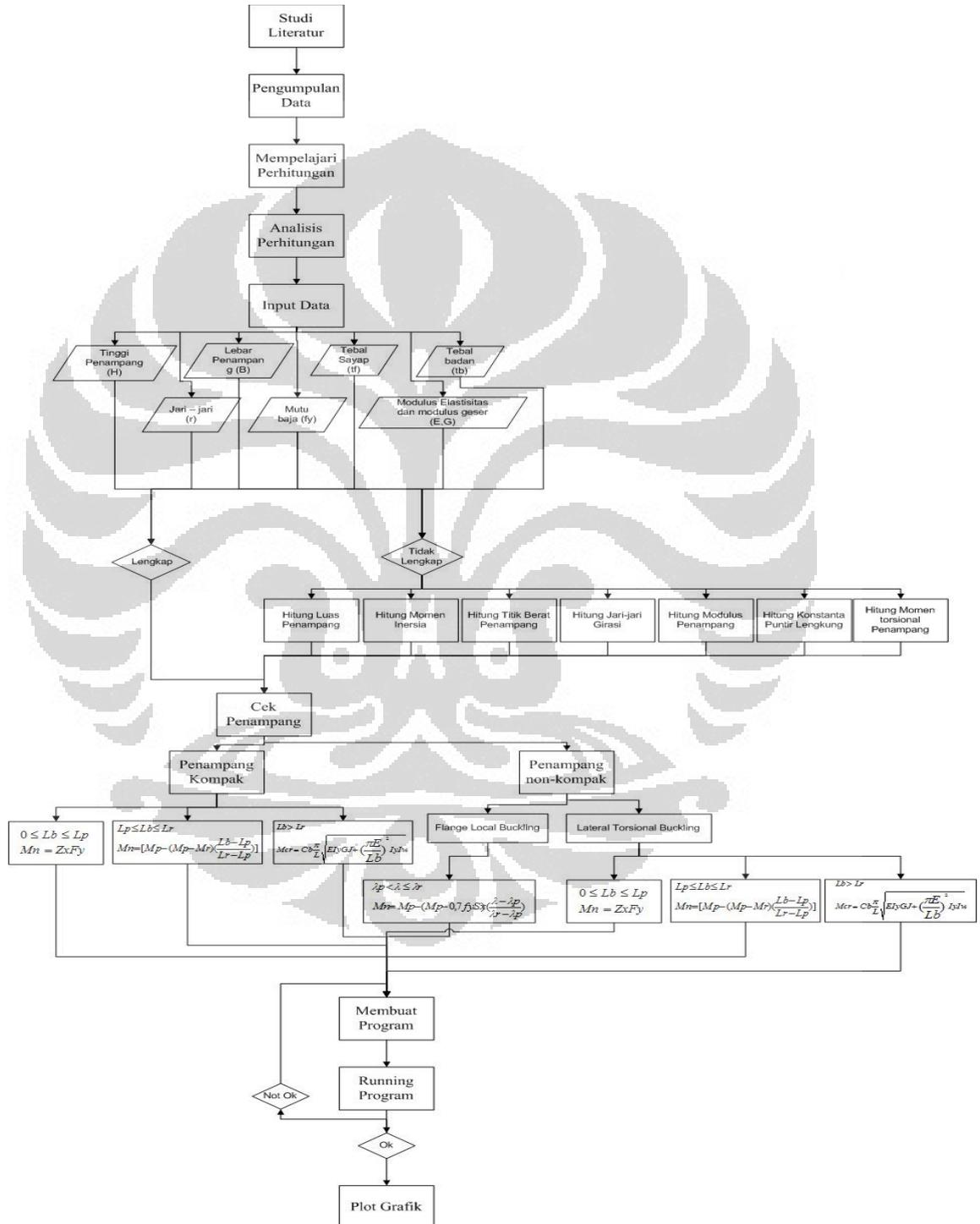


Diagram 1 Flow Chart Metodologi Penelitian.

III.2 Studi Literatur

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh AISC (*American Institute of Steel Construction*). Di dalam penelitian tersebut berisi mengenai perhitungan kekuatan nominal balok lentur baja WF dengan menggunakan metode LRFD dan menghasilkan grafik hubungan antara Momen nominal dengan panjang balok tak terkekang. Penelitian tersebut membahas mengenai Persyaratan kekuatan lentur ultimit.

Persyaratan kekuatan lentur ultimit M_u , untuk balok pada desain faktor beban dan tahanan (metode LRFD) dinyatakan sebagai,

$$\phi_b M_n \geq M_u$$

dengan ϕ_b merupakan faktor tahanan untuk lentur yaitu 0,90 dan M_n merupakan momen nominalnya (AISC, 2010). Penampang bersifat elastis pada saat momen lentur dalam rentang beban layanan, seperti terlihat dalam Gambar 1a. Kondisi elastis akan terjadi sampai tegangan pada serat terluar mencapai tegangan leleh, F_y , dan kekuatan nominalnya, M_n , merupakan momen leleh, M_y , seperti pada Gambar 1b, dan dihitung sebagai

$$M_n = M_y = S_x F_y$$

dengan

$$S_x = \frac{I_x}{c}$$

S merupakan modulus penampang, yang didefinisikan sebagai momen inersia I dibagi dengan jarak c dari pusat berat ke serat terluar. Subskrip x dan y menunjukkan momen inersia dan jarak c dihitung terhadap sumbu x atau terhadap sumbu y . Bila serat memiliki regangan, ϵ , yang sama atau lebih besar dari regangan leleh, $\epsilon_y = F_y/E_s$, yang berada dalam rentang plastis, maka kekuatan momen nominal merupakan momen plastis, M_p , dan dihitung sebagai,

$$M_p = F_y \int_A y \, dA = F_y Z$$

dengan

$Z = \int y \, dA$ merupakan modulus plastis (Salmon *et al*, 1992).

Kekuatan lentur nominal, M_n ditentukan oleh AISC untuk masing-masing keadaan batas kelangsingan, yaitu 1) penampang kompak, untuk $\lambda \leq \lambda_p$, 2) penampang non kompak, untuk $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, 3) penampang langsing, untuk $\lambda > \lambda_r$. Pada penampang kompak yang secara lateral stabil, kekuatan nominal sama dengan kekuatan momen plastis yaitu

$$M_n = M_p$$

dimana M_p merupakan kekuatan momen plastik. Desain harus memperhitungkan tekuk lokal sayap tekan atau tekuk lokal badan yang dapat terjadi sebelum mencapai regangan tekan untuk menimbulkan momen plastis, M_p . Untuk penampang non kompak yang secara lateral stabil, rasio kelangsingan (lebar/tebal) λ , berada di antara batas kelangsingan λ_r dan batas kelangsingan λ_p maka harga kekuatan nominal, M_n harus diinterpolasi secara linear antara M_p dan M_r (Salmon *et al*, 1992)

yaitu

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)$$

Dimana

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Pada penampang langsing, rasio kelangsingan (lebar/tebal), λ melampaui batas λ_r , kekuatan nominal dinyatakan sebagai

$$M_n = M_{cr} = S F_{cr}$$

Bila λ sama dengan λ_r , dengan serat terluar berada pada tegangan leleh maka kekuatan momen nominal yang tersedia,

$$M_n = M_r = (F_y - F_r) S$$

dengan M_r merupakan momen sisa yang menyebabkan tegangan serat terluarnya meningkat dari harga tegangan sisa, F_r sampai tegangan leleh, F_y bila tidak ada beban luar yang bekerja.

Dari penelitian tersebut kemudian lebih dikembangkan untuk membuat grafik hubungan antara momen nominal dengan panjang tak terkekang untuk baja untuk semua profil baja WF produksi PT.Krakatau Steel.

III.3 Pengumpulan Data

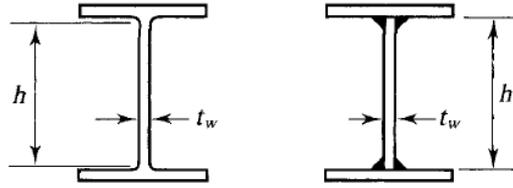
Data baja profil WF didapatkan dari PT. Krakatau Steel. Seluruh dimensi profil WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel akan dihitung momen nominalnya dan kemudian dibuat grafik hubungan antara momen nominal dengan panjang bentang baja tak terkekang.

Pengumpulan data dengan cara meminta langsung kepada PT.Krakatau Steel. Data yang diberikan bisa berupa dimensi saja beserta mutu bajanya atau dalam bentuk tabel yang memuat semua properti penampang dari profil baja WF tersebut, seperti luas dimensi profil, momen inersia, jari-jari girasi, titik berat penampang, dsb. Properti penampang tersebut digunakan di dalam perhitungan momen nominal, apabila tidak terdapat properti penampang, maka di dalam perhitungan akan diperhitungkan kembali nilai-nilai dari semua properti penampang dari profil baja WF tersebut. Selain itu juga diperlukan data panjang maksimum balok-balok profil baja WF tersebut yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel untuk digunakan dalam perhitungan momen nominal.

III.4 Analisis Perhitungan

Apabila tidak terdapat properti penampang di dalam data yang diberikan oleh PT. Krakatau Steel maka langkah awal yang dilakukan di dalam analisis perhitungan adalah dengan menghitung seluruh properti penampang dari seluruh dimensi profil baja WF dan semua mutu baja yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel. Langkah perhitungannya yaitu :

1. Menghitung luas penampang baja profil WF tersebut. Dengan rumus yang berlaku untuk semua penampang profil baja WF.



Gambar 3. 1 Penampang baja Wide Flange. (Segui, 2007)

$$A_g = \int b(y) dy$$

$$A_g = \{2 \cdot (t_f \cdot h_f)\} + (h \cdot t_w)$$

2. Menghitung titik berat penampang profil inersia baja profil WF tersebut. Dengan rumus sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

3. Menghitung Momen Inersia dari penampang baja profil WF tersebut. Dengan rumus sebagai berikut.

$$I = \int b(y) y^2 dy$$

4. Menghitung jari-jari girasi pada penampang baja profil WF tersebut. Dengan rumus sebagai berikut.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

5. Menghitung Modulus Penampang pada penampang baja profil WF tersebut. Dengan rumus sebagai berikut.

$$z = \left(\frac{A}{2}\right) a$$

Setelah didapatkan seluruh nilai properti penampang, maka langkah selanjutnya di dalam analisis perhitungan adalah dengan menentukan apakah

penampang dengan dimensi tertentu merupakan penampang kompak atau tak kompak ditentukan berdasarkan rumus dari SNI 03-1729-2002 sebagai berikut.

$$\frac{bf}{2tf} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{dan} \quad \frac{h}{tw} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Di dalam SNI 03-1729-2002, penentuan penampang profil ditentukan sebagai berikut.

Tabel 5 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan. (SNI 03 - 1729, 2002)

Jenis Elemen	Perbandingan lebar terhadap tebal (λ)	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
		λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_y[c]}$	$370/\sqrt{f_y-f_r} [e]$
Pelat sayap balok-I hibrida atau balok terusun yang di las dalam lentur	b/t	$170/\sqrt{f_{yf}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_{yf}-f_r)/k_e}} [e][f]$
Pelat sayap dari komponen-komponen struktur terusun dalam tekan	b/t	-	$290/\sqrt{f_y/k_e} [f]$
Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponene 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 dari 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	b/t	-	$335/\sqrt{F_y}$
Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar	b/t	$500/\sqrt{f_y}$	$625/\sqrt{f_y}$

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			
Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	b/t	-	$830/\sqrt{f_y}$
Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	h/tw	$1680/\sqrt{f_y}$ [c]	$2550/\sqrt{f_y}$ [g]
Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	h/tw	Untuk $N_u/\phi_b N_y \leq 0,125$ [c] $\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$	[g] $\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$
		Untuk $N_u/\phi_b N_y > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	
Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya	b/t h/tw	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
Penampang bulat berongga	D/t	[d]	
Pada tekan aksial		-	22000/fy
Pada lentur		14800/fy	62000/fy
[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_{yf} sebagai ganti f_y . [b] Ambil luas neto plat pada lubang terbesar. [c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3. Untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar. [d] Untuk perencanaan plastis gunakan $9.000/f_y$.		[e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang dirol = 115 MPa untuk penampang dilas [f] $K_e = \frac{4}{\sqrt{h/tw}}$ tapi, $0,35 \leq K_e \leq 0,763$ [g] f_y adalah tegangan leleh minimum.	

Kategori ini berdasarkan kepada perbandingan lebar dan tebal paling kritis pada potongan penampang.

III.5 Menghitung Kuat Lentur Penampang Kompak.

Kita mulai pada penampang kompak, pertama defenisikan penampang tersebut memiliki web yang secara kontinu terkoneksi dengan flens dan memenuhi persyaratan perbandingan antara lebar dengan tebal baik untuk web dan flens.

$$\frac{bf}{2tf} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{dan} \quad \frac{h}{tw} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Kriteria web harus memenuhi semua standard untuk penampang I yang ada di Manual untuk $F_y \leq 65 \text{ Ksi}$. kemudian, di dalam banyak kasus hanya perbandingan untuk flens saja yang perlu diperhitungkan¹⁰. Kemudian apabila penampang termasuk penampang kompak maka Nilai momen nominalnya adalah;

$$M_n = M_p$$

Dimana,

$$M_p = F_y Z_x$$

$$\frac{M_n}{\Omega_b} \geq M_a$$

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{F_y Z_y}{1,67} = 0,6 F_y Z_x$$

Maka nilai modulus penampang plastisnya adalah

$$Z_x \geq \frac{M_a}{0,6 F_y}$$

Lalu, jika nilai tegangan lenturnya berdasarkan modulus penampang plastis Z_x ,

$$fb = \frac{M_a}{Z_x} \quad \text{dan} \quad Fb = 0,6 F_y$$

Persamaan untuk kuat lateral-torsional buckling elastis secara teoritis dapat ditemukan di dalam *Theory of Elastic Stability* (timoshenko and Gere, 1961). Dengan beberapa perubahan notasi maka nilai momen nominalnya adalah.

$$M_n = F_{cr} S_x$$

¹⁰ Perlu diingat bahwa penampang I yang dibuat sendiri dengan menggabungkan beberapa pelat dengan sambungan las apabila dimensi yang diperlukan tidak diproduksi oleh pabrik, maka penampang tersebut bisa berupa penampang non-kompak atau web langsing.

Dimana F_{cr} adalah tegangan tekuk elastis dan dapat dicari dengan menggunakan rumus,

$$F_{cr} = \frac{\pi}{L_b S_x} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w}, \text{ satuan dalam ksi}$$

Dimana

L_b = panjang tak terkekang (in)

I_y = Momen inersia pada sumbu lemah di potongan penampang (in^4)

G = Modulus Geser baja struktural = 11200 ksi

J = Torsi konstan (in^4)

C_w = Warping Constant (in^6)

Di dalam SNI-03-1729-2002 diatur sebagai berikut,

Tabel 6 Momen kritis untuk tekuk lateral. (SNI 03 -1729, 2002)

Profil	M_{cr}
Profil I dan kanal ganda	$C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y I_w}$
Profil kotak pejal atau berongga	$2C_b E \frac{\sqrt{J A}}{L/r_y}$

Persamaan di atas berlaku sepanjang momen bending bekerja seragam sepanjang panjang tak terkekang (momen yang tidak seragam dipengaruhi nilai C_b). Asumsi nilai $C_b = 1$. Nilai $C_b = 1$ karena diambil panjang tak terkekang pada bentang balok yang ditinjau. Spesifikasi AISC berbeda namun mendekati, bentuk dari tegangan tekuk elastis F_{cr} , AISC memberikan rumus,

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

dimana

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi E}{(L_b/r_{ts})^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

Dan

C_b = Faktor untuk menghitung momen lentur tidak seragam dengan panjang tak terkekang L_b .

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

c = 1,0 untuk penampang I

h = jarak antara centroid flens = d – tf

Jika nilai momen pada saat terjadi *lateral-torsional buckling* lebih besar daripada momen pada kondisi leleh yang pertama, kuat nominalnya berdasarkan perilaku inelastis. Dan nilai momen pada kelelahan pertama adalah,

$$M_r = 0,7F_y S_x$$

Dimana tegangan leleh telah direduksi hingga 30% untuk menghitung efek dari tegangan sisa. Batas antara perilaku elastis dan inelastis adalah L_r pada panjang tak terkekang, dimana nilai L_b didasarkan kepada persamaan AISC ketika F_{cr} sama dengan $0,7F_y$ ketika $C_b = 1,0$ maka persamaannya menjadi,

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y S_x h_o}{E J_c} \right)^2}}$$

Sama dengan kolom, tekuk inelastis pada balok lebih rumit daripada tekuk elastis dan rumus empiris seringkali digunakan. Rumus yang sering digunakan oleh AISC adalah,

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Sedangkan Rumus yang digunakan di dalam SNI adalah

$$\phi M_n = 0,9 C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

Dimana $0,7F_y S_x$ adalah momen leleh dengan memperhitungkan tegangan sisa dan

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Di dalam SNI 03-1729-2002 untuk bentang dengan pengekangan lateral adalah,

Tabel 7 Bentang untuk pengekangan lateral. (SNI 03 -1729, 2002)

Profil	L_p	L_r
Profil-I dan kanal ganda	$1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ dengan $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ Adalah jari-jari girasi terhadap	$r_y \left[\frac{X1}{fL} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X2 fL^2}}$ Dengan

	sumbu lemah.	$f_L = f_y - f_r$ $X1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X2 = 4 \left(\frac{S}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$ I_w adalah konstanta puntir lengkung J adalah konstanta puntir torsi
Profil kotak pejal atau berongga	$0,13 E_r y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$	$2 E_r y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$

III.6 Menghitung Kuat Lentur Penampang non-kompak

Berdasarkan AISC untuk *flange local buckling* jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ maka flensnya termasuk non-kompak dan tekuk dalam keadaan inelastis.

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)$$

Dimana

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Sedangkan untuk *lateral-torsional buckling* dihitung berdasarkan panjang bentang balok tak terkekang, yaitu:

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Jika $L_b \leq L_p$, maka tidak terjadi LTB

Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka terjadi LTB inelastis dan untuk menghitung momen nominalnya menggunakan rumus

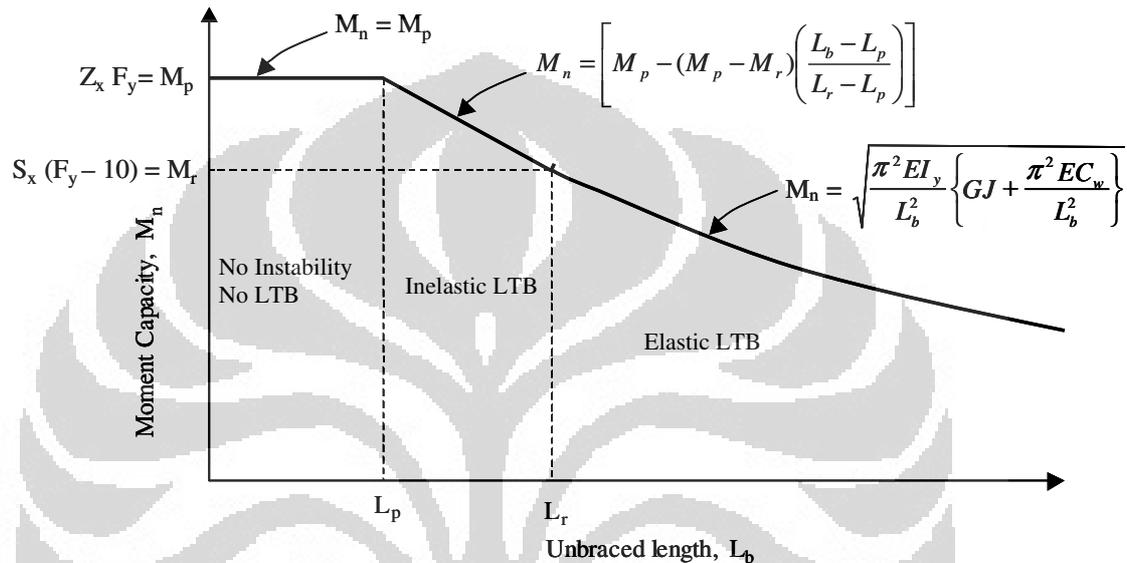
$$M_n = C_b [M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right)] \leq M_p$$

Jika $L_b > L_r$, maka terjadi LTB elastis dan rumus momen nominalnya adalah

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

Dimana

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b/r_{ts})^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Panjang bentang tak terkekang dengan momen nominal.
(Materi Ajar Perancangan Struktur, Universitas Indonesia, Digunakan dengan izin)

III.7 Grafik Desain Dengan MATLAB®.

MATLAB® adalah bahasa komputer tingkat atas untuk perhitungan sains dan visualisasi data yang dibuat berdasarkan areal program interaktif¹¹. Beberapa simbol pada MATLAB® antarlain simbol persentase (%) menandakan awal mulanya perintah. Simbol titik-koma (;) memiliki dua fungsi yaitu, yang pertama adalah memerintahkan untuk melakukan *printout* pada hasil dan untuk memisahkan baris dari suatu matriks. Fungsi dan program dapat dibuat dengan MATLAB® editor dan disimpan dengan menggunakan ekstensi (.m). nama file yang disimpan harus identik dengan nama dari fungsi.

¹¹ Chapter I, Introduction to MATLAB, Kiusalaas, Jaan. Pennsylvania State University, *Numerical Methods in Engineering with MATLAB*. 2nd edition, Cambridge Univeristy Press, New York, 2010.

III.7.1 Type Data

Tipe data yang sering digunakan di dalam MATLAB[®] atau kelas adalah *double*, *char*, dan *logical*, dimana semua itu di dalam MATLAB[®] dikenal sebagai *arrays* atau susunan. Obyek numerik termasuk di dalam kelas *double*. Di mana menggambarkan *double-precision arrays*. Skalar yang ada termasuk susunan 1 x 1. Elemen dari susunan tipe *char* merupakan hubungan dari karakter demi karakter. Kemudian tipe susunan *logical* merupakan elemen yang hanya berisi 1 (*true*) dan 0 (*false*).

Tipe lain yang sangat penting adalah *function_handle*, dimana sangat unik untuk MATLAB. Di dalamnya mengandung informasi-informasi yang dibutuhkan untuk mencari dan menjalankan suatu program. Nama-nama yang ada di dalam *function_handle* terdiri dari karakter @, kemudian diikuti dengan nama dari suatu fungsi. Sebagai contoh, @sin. Pengendali fungsi digunakan sebagai input kalimat untuk memanggil fungsi itu kembali. Sebagai contoh apabila kita memiliki fungsi MATLAB *plot(func ,x1 ,x2)* kemudian plot semua pengguna fungsi dari *x1* hingga *x2*. Pemanggilan fungsi untuk memplotkan sin x dari 0 hingga π , adalah *plot(@sin,0,pi)*.

Ada tipe data lainnya di dalam MATLAB[®], seperti *sparse* (*sparse matrices*), *inline* (*inline objects*) and *struct* (*structured arrays*). Kelas lainnya dapat didefinisikan sendiri. Kelas-kelas obyek dapat dilihat dengan menggunakan perintah *class*.

III.7.2 Variabel

Nama-nama di dalam variabel di mana harus dimulai dengan menggunakan huruf sangat terpengaruh terhadap besar kecilnya huruf. Salah satunya adalah *xstart* dan *xstart* merepresentasikan dua macam variabel. Panjang namanya tak terbatas tetapi pada awalan harus diberikan perintah N. Untuk mencari N di dalam software MATLAB[®] harus menggunakan perintah *namelengthmax*:

Variabel-variabel yang dapat didefinisikan di dalam fungsi MATLAB[®] berada lokal di dalam arealnya. Mereka tidak terdapat di bagian MATLAB[®] dan

tidak bisa berada tetap di dalam memori setelah keluar dari fungsi (hal ini harus menggunakan bahasa pemrograman yang paling baik). Bagaimanapun juga, variabel-variabel dapat dibagi di antara fungsi dan program yang dapat dipanggil jika fungsi tersebut menggunakan perintah *global*. MATLAB[®] memiliki beberapa variabel konstan dan spesial antara lain.

Tabel 8 Variabel di dalam MATLAB. (Kiusalaas, 2010)

ans	Default name result
eps	Smallest number for which $1 + \text{eps} > 1$
inf	infinity
NaN	Not a number
i or j	$\sqrt{-1}$
pi	π
realmin	Smallest usable positive number
realmax	Largest usable positive number

III.7.3 Operator Aritmatika

MATLAB[®] mampu menggunakan operator aritmatika biasa yaitu.

Tabel 9 Operator di dalam MATLAB. (Kiusalaas, 2010)

+	Addition
-	Substraction
*	multiplication
^	exponentiation

Tabel 10 Operator Divisi di dalam MATLAB. (Kiusalaas, 2010)

/	Right Division
\	Left Division

Tabel 11 Operator dengan periode (.) di dalam MATLAB. (Kiusalaas, 2010)

.*	Element-wise multiplication
./	Element-wise division
.^	Element-wise exponentiation

Tabel 12 Variabel di dalam MATLAB. (Kiusalaas, 2010)

<	Less than
>	Greater than
<=	Less than or equal to
>=	Greater than or equal to
==	Equal to
~ =	Not equal to

Tabel 13 Variabel di dalam MATLAB. (Kiusalaas, 2010)

&	And
	or
~	not

III.7.4 Flow Control

Conditional formating menggunakan Struktur *if*.

```
If    condition
      Block
end
```

Mengeksekusi perintah *block* jika kondisinya adalah benar. Jika kondisinya salah perintah *block* tersebut dapat di lewatkan. Kondisional *if* dapat diikuti dengan angka apapun dengan menggunakan *elseif*.

```
If    condition
      Block
elseif condition
      Block
.
.
.
end
```

Dengan sifat yang sama juga bekerja klausa *else*.

```
.
.
.
Else
      Block
end
```

Perintah di atas dapat digunakan untuk mendefinisikan kalimat perintah block di mana dapat dieksekusi jika tidak ada dari klausa *if-elseif* yang benar. Fungsi *signum* dimana mendeterminasikan tanda dari variabel mengilustrasikan penggunaan kondisional.

Struktur *switch* adalah

```
Switch expression
  Case value 1
    Block
  Case value 2
    Block
  .
  .
  .
  Otherwise
    Block
end
```

Perintah *expression* dievaluasi dan hasil kontrolnya berlaku apabila *case* – nya sesuai dengan nilainya. Sebagai gambaran jika nilai dari *expression* adalah *value 2*, perintah *block* diikuti dengan *case value 2* dapat dieksekusi.

Perintah *Loops* mengeksekusi perintah *block* jika dalam kondisi benar. Setelah dieksekusi kemudian kondisinya di evaluasi kembali. Jika masih benar perintah tersebut dieksekusi kembali. Proses ini berlangsung terus menerus hingga kondisinya dalam keadaan salah.

```
While condition
  Block
end
```

Untuk perputaran *for* diperlukan sebuah target dan hubungan dari target yang akan dilakukan perputaran. Konstruksinya adalah.

```
For target = sequence
  Block
end
```

Perputaran apapun dapat dihentikan dengan menggunakan perintah *break*. Sebagai pendekatan perintah *break*, kontrolnya harus sesuai dengan perintah di luar perputaran. Fungsi *buildvec* membangun baris pada data-data yang diberikan kemudian perintah tersebut dapat di- *break* setelah inputnya 0.

Ketika perintah *continue* diberikan pada suatu perputaran, kontrolnya harus sesuai untuk iterasi selanjutnya tanpa mengeksekusi kalimat perintah di dalam iterasi sebelumnya.

Fungsi perintah *return* adalah untuk memanggil kembali pprogram ketika tidak ada fungsi program yang dijalankan. Bagaimanapun juga fungsi dapat dipaksa untuk keluar dengan menggunakan perintah *return*.

Eksekusi program dapat dihentikan dan pesan dapat muncul dengan fungsi *error*.

```
Error('message')
```

III.7.5 Defenisi Fungsi

Bagian dari fungsi harus dilakukan dengan menggunakan defenisi fungsi.

```
Function[output_args] = function_name(input_arguments)
```

Perintah untuk input dan output harus dipisahkan dengan koma. Angka pada perintah harus nol. Jika hanya terdapat satu perintah output, tanda kurung tutup harus diberikan.

Untuk membuat fungsi menjadi dapat diakses untuk program lainnya, hal tersebut haruslah disimpan dengan nama *function_name.m*.

Fungsi M-file dapat berisi fungsi lainnya sebagai tambahan untuk fungsi utama. Hal it dinamakan subfungsi yang hanya dapat dipanggil bersamaan dengan fungsi utama atau subfungsi lain di dalam satu file tersebut. Subfungsi tersebut tidak terdapat di dalam program unit lain. Walaupun, perilaku subfungsi sama dengan perilaku fungsi utama. Sebagai tambahan, cakupan variabel yang didefenisikan dengan subfungsi adalah bersifat lokal. Dimana, variabel-variabel ini tidak dapat terlihat ketika fungsi dipanggil kembali. Fungsi utama harus merupakan fungsi pertama di dalam m-file.

III.7.6 Memanggil dan Mengevaluasi Fungsi

Fungsi dapat dipanggil kembali dengan beberapa kalimat yang muncul di dalam defenisi fungsi. Angka masukan dan kalimat keluaran yang digunakan di dalam panggilan fungsi dapat dideterminasikan oleh fungsi *nargin* dan *nargout*. Secara umum, ide bahwa kode komputer telah di tes dan dievaluasi adalah kurang tepat. Seluruh data haruslah berkesinambungan terhadap fungsi dengan kalimat. MATLAB[®] dapat mengevaluasi fungsi dengan menggunakan *myfunc* untuk diselesaikan sebagai fungsi.

III.7.7 Masukan dan Keluaran

Di dalam membaca masukan MATLAB[®] menggunakan perintah sebagai berikut.

$$Value = input('prompt')$$

Perintah tersebut mengeluarkan kalimat pembuka dan kemudian menunggu untuk data masukan. Jika masukan berupa ekspresi, hal tersebut dievaluasi dan kembali kepada *value*.

III.7.8 Array Functions

Ada beberapa fungsi susunan di dalam MATLAB[®] yang dapat menyelesaikan operasi matriks dan fungsi utama lainnya. Di bawah ini adalah beberapa fungsi-fungsi dasar.

- a) *Length*, panjang *n* (jumlah elemen) dari vektor *x* dapat dihitung dengan menggunakan fungsi *length*.

$$N = length(x)$$

- b) *Size*, jika fungsi *size* dipanggil dengan hanya satu kalimat masukan

$$[m,n] = size(x)$$

Jika harus menghitung beberapa baris nilai *m* dan beberapa kolom *n* pada matriks *x*. Namun jika harus memasukkan dua kalimat masukan menjadi.

$$M = size(X,dim)$$

Hal tersebut mengembalikan panjang *x* dengan dimensi spesifik (*dim* = 1 jumlah baris, dan *dim* = 2 menyatakan jumlah kolom)

- c) *Reshape*, fungsi *reshape* digunakan untuk menyusun kembali elemen dari matriks, dengan fungsi.

$$Y = \text{reshape}(X,m,n)$$

Kembali kepada $m \times n$ elemen matriks dimana diambil dari matriks x di dalam *column-wise order*. Jumlah angka di dalam elemen X harus sama dengan $m \times n$.

III.7.9 Menulis dan Menjalankan Program

MATLAB[®] memiliki dua jendela perintah untuk mengetik jalur program yaitu, jendela perintah dan jendela editor. Jendela perintah merupakan mode interaktif, maka kalimat apapun yang dimasukkan ke dalam jendela tersebut secara langsung akan diproses. Mode interaktif sangat baik di dalam bereksperimen dengan bahasa pemrograman dan ide program lainnya.

MATLAB[®] akan membuka jendela editor ketika m-file baru telah dibuat, atau dari file yang sudah ada sebelumnya dibuat kemudian dibuka. Jendela editor digunakan untuk mengetik dan menyimpan program (biasanya disebut *script files* di dalam MATLAB[®]) dan fungsi-fungsi. Salah satunya dapat menggunakan editor teks untuk memasukkan jalur program, tetapi editor MATLAB[®] memiliki fungsi spesifik MATLAB[®], seperti *color coding* dan *automatic indentation*, yang membuat bekerja lebih mudah. Sebelum program atau fungsi dapat dieksekusi, haruslah disimpan terlebih dahulu sebagai MATLAB[®] m-file (panggil kembali file-file ini dengan menggunakan m-file). Suatu program dapat dijalankan dengan mengetik *run* dari menu editor *debug*.

Ketika suatu program dipanggil kembali untuk pertama kalinya selama program berjalan, haruslah diikuti dengan menggunakan P-code (*pseudo-code*) untuk mempercepat eksekusi dan kemudian memanggil fungsi tersebut. salah satunya dapat membuat P-code menjadi sebuah fungsi dan disimpan di dalam disk, dengan perintah.

$$\text{Pcode } \textit{function_name}$$

MATLAB[®] kemudian akan mengeluarkan P-code ke memori daripada mengeluarkannya di file teks.

Variabel-variabel yang dibuat selama sesi MATLAB[®] akan tersimpan ke dalam MATLAB[®] *workspace* hingga semuanya benar-benar disimpan. Urutan variabel-variabel yang disimpan dapat dilihat dengan menggunakan perintah *who*. Jika detail variabel yang dibutuhkan lebih besar, menggunakan perintah *whos*. Variabel-variabel dapat dihilangkan dari *workspace* dengan mengetik perintah.

Clear a b ...

III.7.10 Plotting

Setelah semua persamaan didefinisikan kemudian dilakukan plotting terhadap seluruh data dan variabel dengan menggunakan program yang telah dibuat. Data-data yang dimasukkan ke dalam fungsi MATLAB[®] adalah data-data yang didapatkan dari PT. Krakatau Steel. Kemudian, dari fungsi yang telah dijalankan di dalam MATLAB[®] dapat dihitung besarnya nilai momen nominal dari balok WF tersebut. MATLAB[®] dapat menghasilkan grafik 2 dimensi plot.

BAB IV

HASIL & PEMBAHASAN

IV.1. Pengumpulan Data

Data - data yang diperlukan adalah dimensi dari penampang profil baja *Wide Flange* yang diproduksi di Indonesia. Data-data yang diambil adalah data-data yang profil baja WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel. Data lainnya yang juga diperlukan adalah data mutu baja. Dari mutu paling rendah hingga mutu paling tinggi. Data – data penampang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 14 Tabel Profil baja WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel.(PT.Krakatau Steel)

Nominal	Code	H	B	t1	t2	r	AREA (cm ²)	Kg/m	Moment of inertia (cm ²)		Gyration of area (cm)		Section (cm ²)	
									Ix	Iy	ix	iy	ex	ey
100 X 50 X 5	W.100 X 9	100	50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
125 X 60 X 6	W.152 X 13	125	60	6	8	8	16.69	13.10	409	29.1	4.95	1.32	65.5	9.71
15 X 75 X 5	W.150 X 14	150	75	5	7	8	17.85	14.00	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
150 X 75 X 6	W.150 X 21	148	100	6	9	8	26.35	20.70	1000	150	6.17	2.39	135	30.1
175 X 90 X 5	W.175 X 18	175	90	5	8	8	22.90	18.00	1210	97.5	7.26	2.06	138	21.7
200 X 100 X 4.5	W.200 X 18	198	99	4.5	7	8	22.69	17.80	1540	113	8.25	2.24	156	22.9
200 X 100 X 5.5	W.200 X 21	200	100	5.5	8	8	26.67	20.90	1810	134	8.23	2.24	181	26.7
200 X 150 X 6	W.200 X 30	194	150	6	9	8	38.11	29.90	2630	507	8.30	3.65	271	67.6
250 X 125 X 5	W.250 X 25	248	124	5	8	8	31.99	25.10	3450	255	10.4	2.82	278	41.1
250 X 125 X 6	W.250 X 29	250	125	6	9	8	36.97	29.00	3960	294	10.4	2.82	317	47

Data - data yang sudah terdapat di dalam tabel antara lain dimensi profil yaitu tinggi penampang (H), lebar penampang (B), tebal sayap (tf), tebal badan (tw), luas profil, momen inersia penampang, jari-jari girasi penampang dan modulus penampang elastis (ex dan ey). Di dalam analisis, perhitungan luas, momen inersia, jari-jari girasi penampang dan modulus penampang elastis dihitung kembali dengan takikan pada hubungan antara sayap dan badan berbentuk seperempat lingkaran dengan nilai jari – jari lingkaran diberikan pada tabel tersebut.

Mutu kuat baja yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel dari yang paling rendah hingga yang paling tinggi terdapat di dalam tabel berikut ini.

Tabel 15 Tabel mutu baja yang diproduksi oleh PT.Krakatau Steel. (PT. Krakatau Steel)

Grade	Yield point or yield strength N/mm ² (kgf/mm ²)		Tensile Strength N/mm ² (kgf/mm ²)	Dimension of Rolled Steel (mm)	Test Piece	Elongation (%)	Bend Property		
	Thickness of rolled steel (mm)						Angle of Bending	Inside Radius	Test Piece
	16 or under	Over 16 up to 40							
SS 330 (Bj P 34)	205 min (20.9 min)	195 min (19.9 min)	330 to 430 (33.7 to 44.0)	Steel plates and sheets, strips and flats steel of 5 or under in thickness	No. 5	26 min.			
				Steel plates and sheets, strips and flats steel of over 5 up to 16 in thickness	No. 1A	21 min.	180 ⁰	Half of the thickness	No. 01
				Steel plates and sheets, strips and flats steel of over 16 up to 50 in thickness	No. 1A	26 min.			
SS 400 (Bj P 41)	245 min (25 min)	235 min (24 min)	400 to 510 (40.8 to 52.0)	Steel plates and sheets, strips flats and shapes of 5 or under to in thickness	No. 5	21 min.			
				Steel plates and sheets, strips flats and shapes of over 5 up to 16 in thickness	No. 1A	17 min.	180 ⁰	1.5 times the thickness	No. 01
				Steel plates and sheets, strips flats and shapes of over 16 up to 50 in thickness	No. 1A	21 min.			
SS 490 (Bj P 50)	285 min (29.1 min)	275 min (28 min)	490 to 610 (50.0 to 62.2)	Steel plates and sheets, strips flats and shapes of 5 or under in thickness	No. 5	19 min.			
				Steel plates and sheets, strips flats and shapes of over 5 up to 16 in thickness	No. 1A	15 min.	180 ⁰	2.0 times the thickness	No. 01
				Steel plates and sheets, strips flats and shapes of over 16 up to 50 in thickness	No. 1A	19 min.			
SS 540 (Bj P 55)	400 min (40.8 min)		540 min (55.1 min)	Steel plates and sheets, strips flats and shapes of 5 or under in thickness	No. 5	16 min.			
				Steel plates and sheets, strips flats and shapes of over 5 up to 16 in thickness	No. 1A	13 min.	180 ⁰	2.0 times the thickness	No. 01
				Steel plates and sheets, strips flats and shapes of over 16 up to 40 in thickness	No. 1A	17 min.			

Data lainnya disesuaikan dengan SNI 03-1729-2002 tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung pasal 5.1.3 sifat – sifat mekanis baja. Data – data yang terdapat di dalamnya antara lain,

Modulus Elastisitas : $E = 200000$ Mpa

Modulus Geser : $G = 80000$ Mpa

Nisbah Poisson : $\mu = 0,3$

Koefisien Pemuaian : $\alpha = 2,1 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

IV.2. Analisis Perhitungan

Setelah didapatkan data – data yang diperlukan maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan properti penampang dari profil baja WF tersebut. Properti yang dihitung antara lain adalah Luas Penampang (A), Momen Inersia Penampang (I), Jari –jari Girasi Penampang (r), Modulus Penampang Elastis (S), dan Modulus Penampang Plastis (Z). Untuk nilai Luas Penampang, Momen Inersia Penampang, Jari –jari Girasi Penampang, dan Modulus Penampang Elastis nilai dari hasil perhitungan dapat dibandingkan dengan nilai pada tabel dengan

tujuan untuk menilai apakah perhitungan properti penampang tersebut benar sesuai dengan data pada tabel yang diberikan oleh produsen.

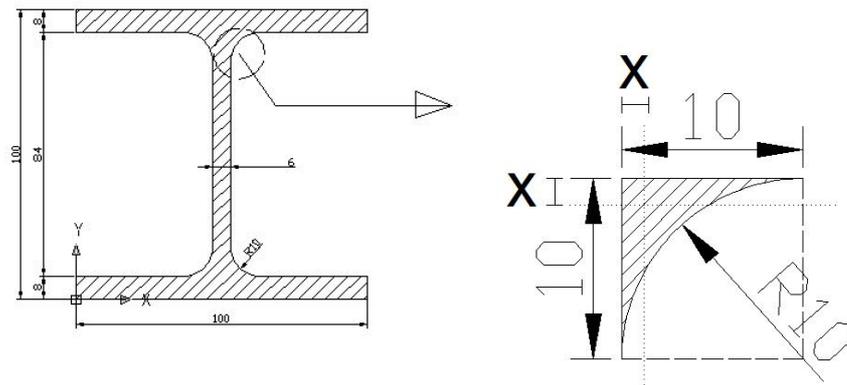
Perhitungan didasarkan kepada perhitungan yang ada di SNI 03-1729-2002 untuk perhitungan kuat lentur nominal yaitu pada pasal 8. Di dalam pasal 8 tersebut, Perhitungan momen nominal didasarkan kepada beberapa jenis kegagalan. Jenis kegagalan pertama yaitu akibat pengaruh tekuk lokal karena salah satu elemennya mengalami leleh terlebih dahulu dibandingkan elemen lainnya ketika diberi beban. Batasan dan perhitungan kuat lentur nominal ada di dalam pasal 8.2. Kemudian bentuk kegagalan berikutnya adalah akibat pengaruh tekuk lateral dimana baik elemen sayap dan elemen badan mengalami leleh secara bersamaan ketika diberi beban yang mengakibatkan timbulnya tegangan pada penampang. Batasan dan perhitungan kuat lentur nominal akibat kegagalan tersebut ada pada pasal 8.3.

IV.2.1 Perhitungan Properti Penampang

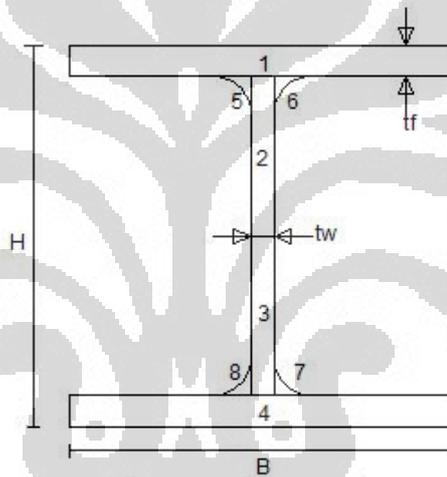
IV.2.1.1 Perhitungan Luas Penampang

Data – data dimensi yang ada pada tabel meliputi data dimensi profil yaitu, tinggi penampang (H), lebar penampang (B), tebal elemen badan (t_w), tebal elemen sayap (t_f) dan jari – jari (r). Dari data yang diperlukan juga telah dilengkapi gambar penampang sebagai referensi untuk menghitung properti penampang.

Perhitungan pertama yang dilakukan adalah menghitung luas dari penampang. Untuk memudahkan perhitungan, penampang WF dibagi menjadi beberapa bagian. Luas penampang masing – masing dihitung untuk kemudian dijumlahkan. Hal ini dilakukan untuk perhitungan selanjutnya yaitu menghitung momen inersia. Pembagian penampang dan perhitungan luas penampang terdapat di bawah ini.



Gambar 4. 1 Luas penampang tambahan pada hubungan badan dan sayap.



Gambar 4. 2 Pembagian penampang baja WF.

Perhitungan Luas Penampang :

Luas 1:

$$A1 = B \cdot t_f$$

Luas 2:

$$A2 = t_w \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \cdot (H - (2 \cdot t_f))$$

Luas 3:

$$A3 = t_w \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \cdot (H - (2 \cdot t_f))$$

Luas 4:

$$A4 = B \cdot t_f$$

Luas 5:

$$A5 = ((4 \cdot r^2) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot (2 \cdot r)^2 \right)) / 4$$

Luas 6:

$$A6 = ((4 \cdot r^2) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot (2 \cdot r)^2 \right)) / 4$$

Luas 7:

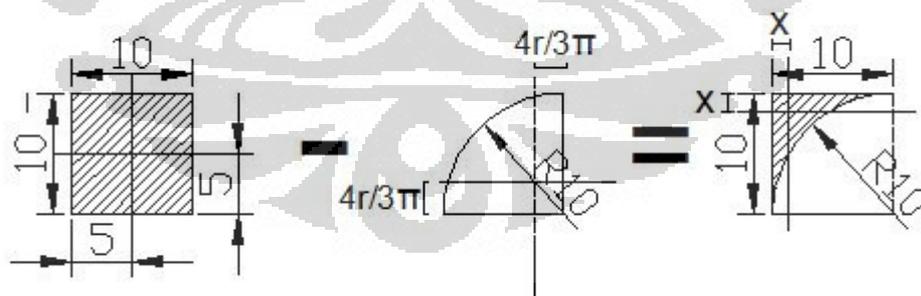
$$A7 = ((4 \cdot r^2) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot (2 \cdot r)^2 \right)) / 4$$

Luas 8:

$$A8 = ((4 \cdot r^2) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot (2 \cdot r)^2 \right)) / 4$$

IV.2.1.2 Perhitungan Titik Berat Penampang

Perhitungan titik berat penampang memerlukan nilai dari luas penampang. Titik berat untuk penampang takikan pada hubungan flens dan web dihitung terlebih dahulu. Untuk hubungan flens dan web bagian atas terdapat dua penampang takikan, begitu juga dengan hubungan flens dan web bagian bawah, memiliki dua penampang takikan. Untuk mendapatkan nilai titik berat penampang tersebut, dilakukan dengan menghitung titik berat dua penampang untuk kemudian digabungkan hingga menjadi titik berat penampang pada takikan tersebut.



Gambar 4. 3 Gambar penampang tambahan pada hubungan flens dan web.

Titik berat penampang persegi dengan sisi r memiliki titik berat pada arah x sebesar $\frac{1}{2}r$ dan nilai yang sama pada arah y $\frac{1}{2}r$. Untuk titik berat seperempat lingkaran dengan jari – jari r memiliki titik berat pada arah x sebesar $\frac{4r}{3\pi}$

dihitung dari titik pusat lingkaran untuk arah x, dengan nilai yang sama untuk arah y yang juga dihitung dari titik pusat lingkaran.

Perhitungan Titik berat penampang arah x yaitu,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{x} = \frac{\left((r \cdot r) \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \right) \cdot r \right) \right) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot r^2 \right) \cdot \left(\frac{4r}{3\pi} \right)}{(r \cdot r) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot r^2 \right)}$$

Kemudian untuk arah y dihitung sebagai berikut,

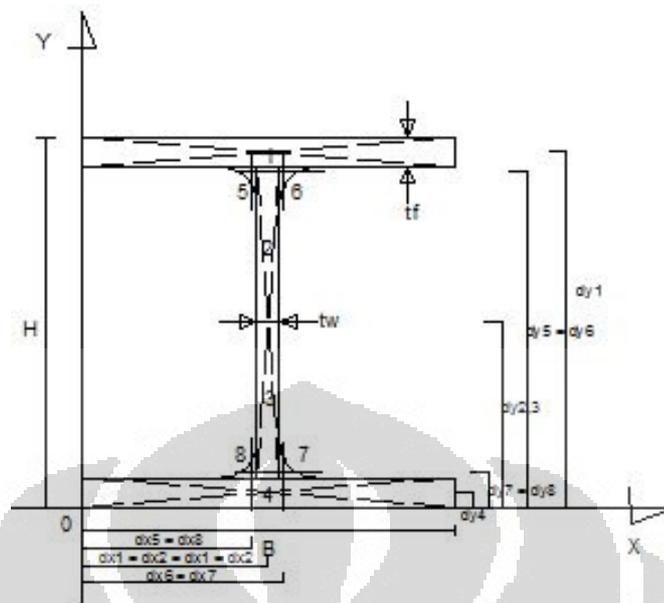
$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{\left((r \cdot r) \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \right) \cdot r \right) \right) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot r^2 \right) \cdot \left(\frac{4r}{3\pi} \right)}{(r \cdot r) - \left(\left(\frac{1}{4} \right) \cdot \pi \cdot r^2 \right)}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai dari titik berat penampang pada takikan tersebut dengan notasi x. Karena pada arah x dan y nilainya sama untuk titik berat penampang tersebut maka ditetapkan satu notasi x di dalam perhitungan selanjutnya.

Setelah didapatkan nilai titik berat penampang pada hubungan antara flens dan web maka dapat melakukan perhitungan penampang WF secara keseluruhan. Pembagian penampang sama dengan pembagian penampang di dalam perhitungan luas penampang WF. Untuk penampang 1,2,3 dan 4 berbentuk persegi panjang sehingga letak titik beratnya untuk arah x adalah $1/2b$ dan untuk arah y adalah $1/2h$. Kemudian, dihitung jarak dari titik berat tiap penampang ke titik $(x,y) = (0,0)$

Masing – masing luas penampang dikalikan dengan jarak titik berat masing – masing penampang ke titik $(0,0)$ kemudian dijumlahkan untuk selanjutnya dibagi dengan luas penampang keseluruhan. Perhitungan titik berat penampang WF secara keseluruhan adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Gambar Jarak elemen penampang ke titik koordinat (0,0).

Perhitungan Titik berat penampang arah x yaitu,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{x} = \frac{((A1 \cdot dx1) + (A2 \cdot dx2) + (A3 \cdot dx3) + (A4 \cdot dx4) + (A5 \cdot dx5) + (A6 \cdot dx6) + (A7 \cdot dx7) + (A8 \cdot dx8))}{(A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7 + A8)}$$

Kemudian untuk arah y dihitung sebagai berikut,

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{((A1 \cdot dy1) + (A2 \cdot dy2) + (A3 \cdot dy3) + (A4 \cdot dy4) + (A5 \cdot dy5) + (A6 \cdot dy6) + (A7 \cdot dy7) + (A8 \cdot dy8))}{(A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7 + A8)}$$

IV.2.1.3 Perhitungan Momen Inersia

Momen Inersia dihitung berdasarkan perhitungan momen inersia biasa berdasarkan mekanika benda padat. Momen Inersia dihitung baik dari arah sumbu lemah dan dari arah sumbu kuat, atau bisa disebut dalam arah x atau arah y.

Hal yang patut untuk diperhatikan adalah dalam menghitung momen inersia pada hubungan elemen badan dan sayap karena pada hubungan tersebut

terdapat terdapat lekukan. Lekukan tersebut dihasilkan dari penampang persegi dengan panjang dan lebar sebesar r dikurangi dengan luas seperempat lingkaran dengan jari –jari r . Nilai r diberikan pada tabel data dari produsen baja.

Perhitungan Momen inersia dari penampang yang berbentuk lekukan diantara hubungan flens dan web dilakukan dengan cara menghitung momen inersia penampang persegi terlebih dahulu dengan sisinya sebesar r , dengan rumus,

$$I = \left(\frac{1}{12}\right) .r.r^3$$

Kemudian menghitung momen inersia seperempat lingkaran dengan jari-jari r , dengan rumus sebagai berikut,

$$I = 0,05498.r^4$$

Dari kedua perhitungan tersebut kemudian didapatkan nilai momen inersia dari penampang lekukan tersebut. momen inersia dari penampang persegi dengan sisi r dikurangi dengan momen inersia dari seperempat lingkaran dengan jari – jari r . Kemudian didapatkan momen inersia sebagai berikut.

$$I_{st} = \left(\frac{1}{12}\right) .r.r^3 + \left((r.r) . \left(\left(\frac{1}{2}\right) .r \right) -x \right)^2 - 0,05498.r^4 + \left(\left(\frac{1}{4}\right) .\pi.r^2 \right) . \left(r - \left(\frac{4r}{3\pi}\right) -x \right)^2$$

Setelah didapatkan nilai momen inersia dari penampang lekukan, serta letak titik berat dari penampang lekukan tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan momen inersia penampang WF secara keseluruhan berdasarkan pembagian penampang pada perhitungan luas penampang WF. Momen inersia penampang WF arah sumbu kuat dihitung sebagai berikut,

Perhitungan Momen Inersia Penampang

Inersia 1:

$$I_1 = \left(\frac{1}{12}\right) .b.tf^3$$

Inersia 2:

$$I_2 = \left(\frac{1}{12}\right) tw \left(\frac{1}{2}\right) (H - (2*tf))^3$$

Inersia 3:

$$I_3 = \left(\frac{1}{12}\right) tw \left(\frac{1}{2}\right) (H - (2*tf))^3$$

Inersia 4:

$$I_4 = \left(\frac{1}{12}\right) .b.tf^3$$

Inersia 5:

$$I_5 = I_{st}$$

Inersia 6:

$$I_6 = I_{st}$$

Inersia 8:

Inersia 7:

$$I_8 = I_{st}$$

$$I_7 = I_{st}$$

Setelah didapatkan nilai inersia masing – masing elemen penampang kemudian dapat dilakukan perhitungan momen inersia penampang keseluruhan. Momen inersia masing – masing ditambahkan dengan perkalian antara luas dan jarak titik berat elemen penampang ke titik berat penampang WF keseluruhan kuadrat. Perhitungan momen inersia penampang WF secara keseluruhan dihitung sebagai berikut.

$$I_x' = I + A \cdot dy^2$$

$$I_x' = \left((I_1 + A_1 \cdot dy_1'^2) + (I_2 + A_2 \cdot dy_2'^2) + (I_3 + A_3 \cdot dy_3'^2) + (I_4 + A_4 \cdot dy_4'^2) + (I_5 + A_5 \cdot dy_5'^2) + (I_6 + A_6 \cdot dy_6'^2) + (I_7 + A_7 \cdot dy_7'^2) + (I_8 + A_8 \cdot dy_8'^2) \right)$$

Dengan nilai jarak titik berat tiap elemen penampang ke titik berat penampang WF keseluruhan adalah.

Penampang 1:

$$dy_1' = \bar{y} - \left(\frac{1}{2} \right) \cdot tf$$

Penampang 5:

$$dy_5' = \bar{y} - tf - x$$

Penampang 2:

$$dy_2' = \bar{y} - tf - \left(\frac{H - 2tf}{4} \right)$$

Penampang 6:

$$dy_6' = \bar{y} - tf - x$$

Penampang 3:

$$dy_3' = \bar{y} - tf - \left(\frac{H - 2tf}{4} \right)$$

Penampang 7:

$$dy_7' = \bar{y} - tf - x$$

Penampang 4:

$$dy_4' = \bar{y} - \left(\frac{1}{2} \right) \cdot tf$$

Penampang 8:

$$dy_8' = \bar{y} - tf - x$$

Dari perhitungan di atas didapat momen inersia penampang WF secara keseluruhan dalam arah sumbu kuat. Hal yang sama dilakukan untuk perhitungan momen inersia arah sumbu lemah, dengan perhitungan sebagai berikut.

Perhitungan Momen Inersia Penampang

Inersia 1:

$$I_1 = \left(\frac{1}{12} \right) \cdot tf \cdot b^3$$

Inersia 2:

$$I_2 = \left(\frac{1}{12}\right) \left(\left(\frac{1}{2}\right) (H-(2*tf))\right) tw^3$$

Inersia 3:

$$I_3 = \left(\frac{1}{12}\right) \left(\left(\frac{1}{2}\right) (H-(2*tf))\right) tw^3$$

Inersia 4:

$$I_4 = \left(\frac{1}{12}\right) .tf.b^3$$

I5=I_{st}

Inersia 6:

I6=I_{st}

Inersia 7:

I7=I_{st}

Inersia 8:

I8=I_{st}

Inersia 5:

$$I_y' = I + A . dx^2$$

$$I_y' = ((I_1 + A_1 . dx_1'^2) + (I_2 + A_2 . dx_2'^2) + (I_3 + A_3 . dx_3'^2) + (I_4 + A_4 . dx_4'^2) + (I_5 + A_5 . dx_5'^2) + (I_6 + A_6 . dx_6'^2) + (I_7 + A_7 . dx_7'^2) + (I_8 + A_8 . dx_8'^2))$$

Dengan nilai jarak titik berat tiap elemen penampang ke titik berat penampang WF keseluruhan adalah.

Penampang 1:

$$dx_1' = \bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)$$

Penampang 2:

$$dx_2' = \bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)$$

Penampang 3:

$$dx_3' = \bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)$$

Penampang 4:

$$dx_4' = \bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)$$

Penampang 5:

$$dy_5' = \left(\bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)\right) + \left(\left(\frac{1}{2}\right) tw\right) + x$$

Penampang 6:

$$dy_6' = \left(\bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)\right) + \left(\left(\frac{1}{2}\right) tw\right) + x$$

Penampang 7:

$$dy_7' = \left(\bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)\right) + \left(\left(\frac{1}{2}\right) tw\right) + x$$

Penampang 8:

$$dy_8' = \left(\bar{x} - \left(\left(\frac{1}{2}\right) B\right)\right) + \left(\left(\frac{1}{2}\right) tw\right) + x$$

IV.2.1.4 Perhitungan Jari-jari Girasi

Di dalam perhitungan jari – jari girasi memerlukan nilai momen inersia dan luas penampang dari profil WF. Jari – jari girasi dihitung baik dari arah x dan arah y. Jari – jari girasi dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini,

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

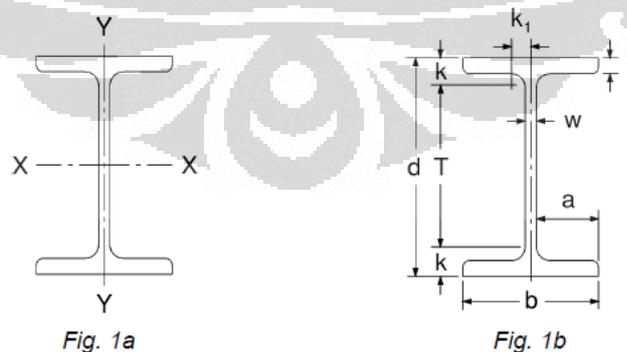
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

IV.2.1.5 Perhitungan Momen Torsional

Momen torsional J adalah suatu perhitungan tahanan torsional pada balok terhadap momen torsi bekerja seragam sepanjang bentang balok. Perhitungan Momen torsional digunakan untuk mengetahui tahanan terhadap tekuk akibat momen yang bekerja pada sumbu lemah balok yang tidak diikat atau dikekang dan tahanan terhadap tekuk akibat momen lentur pada arah sumbu kuat. Rumus umum momen torsional yang dikemukakan oleh Theodore V. Galambos tahun 1968 adalah.

$$J = \sum \left(\frac{b' \cdot t^3}{3} \right)$$

Dimana nilai b adalah lebar dari pelat dan t adalah tebal dari pelat penampang. Untuk penampang WF dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut yang juga dikemukakan oleh Theodore V. Galambos pada tahun 1968. Nilai J pada rumus berikut ini mengabaikan luas penampang tambahan pada hubungan antara flens dan web.



Gambar 4. 5 Gambar Penampang WF simetris. (CISC,2002)

$$J = \frac{2bt^3 + d'w^3}{3}$$

Dimana,

$$d' = H - tf$$

IV.2.1.6 Perhitungan Modulus Penampang Elastis

Balok merupakan elemen struktural yang menerima beban dengan arah tegak lurus dengan sumbu penampang balok tersebut. Akibat beban tersebut, maka balok mengalami momen lentur. Ketika balok melentur maka balok akan berdeformasi dan membentuk curvature pada balok tersebut. Apabila balok masih dalam keadaan elastis dalam arti apabila beban pada balok dilepas maka balok akan kembali ke kondisi awal sebelum dibebani. Kondisi tersebut dinamakan kondisi elastis. Balok mengalami tegangan pada saat diberi beban, tegangan balok pada kondisi elastis dinamakan tegangan elastis. Dimana, tegangan elastis dihitung berdasarkan besarnya nilai momen inersia searah dengan arah bekerjanya beban pada balok, dibagi dengan jarak titik berat penampang pada arah bekerjanya beban ke titik yang ditinjau. Tegangan elastis balok pada sumbu kuat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$S_x = I_x / \bar{y}$$

Sedangkan pada arah sumbu lemah adalah

$$S_y = I_y / \bar{x}$$

IV.2.1.7 Perhitungan Modulus Penampang Plastis

Kapasitas Plastis, dimana nilai momen yang dibutuhkan untuk merubah kondisi elastis hingga kondisi plastis, dapat dengan mudah dihitung dari pertimbangan distribusi tegangan. Di dalam menghitung momen plastis diperlukan modulus penampang plastis yaitu statis momen dari luasan penampang yang mengalami tegangan tekan dengan keadaan sepenuhnya plastis dan luasan penampang yang mengalami tegangan tarik dengan keadaan sepenuhnya plastis juga. Modulus penampang plastis dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$Z = \left(\frac{A}{2}\right) a$$

Dimana nilai a adalah jarak titik berat penampang yang mengalami tegangan tekan ke titik berat penampang yang mengalami tegangan tarik. Nilai a juga bisa dihitung dengan mencari nilai titik berat penampang yang mengalami tegangan tekan kemudian ditambah dengan titik berat penampang yang mengalami tegangan tarik dengan notasi y_1 dan y_2 . Perhitungan modulus penampang plastis untuk arah sumbu kuat dihitung sebagai berikut,

$$y_1 = ((A_1 \cdot dy_1) + (A_2 \cdot dy_2) + (A_5 \cdot dy_5) + (A_6 \cdot dy_5)) / (A_1 + A_2 + A_5 + A_6)$$

$$y_2 = ((A_4 \cdot dy_1) + (A_3 \cdot dy_2) + (A_7 \cdot dy_5) + (A_8 \cdot dy_5)) / (A_4 + A_3 + A_7 + A_8)$$

$$Z_x = \left(\frac{A}{2}\right) (y_1 + y_2)$$

Kemudian untuk arah sumbu lemah,

$$x_1 = \left(\left(\frac{A_1}{2}\right) \cdot (\bar{x}/2)\right) + \left(\left(\frac{A_2 + A_3}{2}\right) \cdot (tw/4)\right) + (A_6 \cdot dx_6') + (A_8 \cdot dx_8')$$

$$+ \left(\left(\frac{A_4}{2}\right) \cdot (\bar{x}/2)\right) / \left(\left(A_1/2\right) + \left((A_2 + A_3)/2\right) + A_6 + A_8 + (A_4/2)\right)$$

$$x_2 = \left(\left(\frac{A_1}{2}\right) \cdot (\bar{x}/2)\right) + \left(\left(\frac{A_2 + A_3}{2}\right) \cdot (tw/4)\right) + (A_5 \cdot dx_5') + (A_7 \cdot dx_7')$$

$$+ \left(\left(\frac{A_4}{2}\right) \cdot (\bar{x}/2)\right) / \left(\left(A_1/2\right) + \left((A_2 + A_3)/2\right) + A_5 + A_7 + (A_4/2)\right)$$

$$Z_y = \left(\frac{A}{2}\right) (x_1 + x_2)$$

IV.2.1.8 Perhitungan Tekuk Torsional Konstan

Tekuk torsional konstan C_w atau I_w merupakan nilai tahanan pada balok terhadap momen torsi yang tidak seragam bekerja pada bentang balok. Konstanta tekuk torsional digunakan di dalam perhitungan tahanan momen lentur arah sumbu lemah pada bentang yang tidak dikekang dan untuk perhitungan tekuk lentur torsional pada batang tekan. Konstanta tekuk torsional dihitung dengan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Theodore V. Galambos tahun 1968, yaitu.

$$I_w = \frac{d'^2 \cdot b^3 \cdot t}{24}$$

$$d' = H - t_f$$

Dimana nilai b adalah lebar dari pelat dan t adalah tebal dari pelat penampang.

IV.2.2 Cek Penampang

Penampang profil baja WF memiliki dua kategori di dalam perilakunya terhadap beban luar. Penampang WF terdiri dari dua elemen penting yaitu dua bilah flens pada bagian atas dan bawah serta satu bilah web atau badan pada bagian tengah antara dua flens tersebut. Ketika balok WF menerima beban luar yang mengakibatkan flens dan web berdeformasi maka apabila flens dan web tersebut bekerja secara bersamaan dan mengalami kelelahan pada saat yang sama maka penampang tersebut dikatakan penampang kompak. Apabila salah satu elemen penampang lebih dahulu mengalami leleh pada saat dibebani maka penampang tersebut merupakan penampang non kompak. Pengecekan terhadap penampang untuk dua kategori ini menggunakan perbandingan antara tebal pelat elemen penampang dengan lebar elemen penampang. Untuk elemen flens dihitung sebagai berikut, (SNI 03-1729-2002).

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\lambda_p = 170 \sqrt{F_y}$$

$$\lambda_r = 370 \sqrt{F_y - F_r}$$

Dimana $F_r = 70$ Mpa untuk baja giling panas.

Sedangkan untuk elemen web dihitung sebagai berikut,

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda_p = 3,78 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Kategori penampang WF berdasarkan nilai – nilai tersebut di atas dengan batasan sebagai berikut,

Jika $\lambda \leq \lambda_p$ dan flens terkoneksi dengan web secara kontinu, maka termasuk penampang kompak. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.2.3)

Jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ dan flens terkoneksi dengan web secara kontinu, maka termasuk penampang kompak. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.2.4)

Jika $\lambda \leq \lambda_r$ maka termasuk penampang langsing. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.2.5)

IV.2.3 Momen Nominal Penampang Kompak

Momen nominal untuk penampang kompak dihitung berdasarkan tiga jenis kondisi. Tiga jenis kondisi tersebut adalah keadaan stabil, mengalami tekuk torsi lateral inelastis, dan tekuk torsi lateral elastis. Tiga jenis kondisi ini dibatasi oleh L_p dan L_r . Nilai L_p dan L_r dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Dan untuk L_r dihitung sebagai berikut,

$$L_r = r_y \left[\frac{X_1}{fL} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f L^2}}$$

Dengan

$$fL = f_y - f_r$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$$

Setelah mendapatkan nilai L_p dan L_r , kemudian dapat mengkategorikan ketiga kondisi balok baja berdasarkan batasan tersebut.

Jika $L_b \leq L_p$, maka tidak terjadi LTB atau disebut balok bentang pendek. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3.3)

$$M_n = M_p = F_y Z$$

Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka terjadi LTB inelastis atau disebut balok bentang menengah. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3.4) dan untuk menghitung momen nominalnya menggunakan rumus

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Dengan asumsi $C_b = 1$.

Jika $L_b > L_r$, maka terjadi LTB elastis (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3.5) dan rumus momen nominalnya adalah

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

Dimana

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y I_w}$$

IV.2.4 Momen Nominal Penampang Non Kompak

Momen nominal penampang non kompak dihitung berdasarkan batasan dari nilai λ . Perhitungan Momen Kategori penampang WF berdasarkan nilai – nilai tersebut dengan batasan sebagai berikut,

Jika $\lambda \leq \lambda_p$ dan flens terkoneksi dengan web secara kontinu, maka termasuk penampang kompak. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.2.3)

$$M_n = M_p = F_y Z$$

Jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ dan flens terkoneksi dengan web secara kontinu, maka termasuk penampang non kompak. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.2.4)

$$M_n = C_b [M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)] \leq M_p$$

Jika $\lambda \leq \lambda_r$ maka termasuk penampang langsing. (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.2.5)

$$M_n = (0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda}{\lambda_r}\right)^2$$

IV.2.5 Pemrograman dengan MATLAB[®]

Langkah awal yang penting di dalam pemrograman menggunakan MATLAB[®] adalah membuat alur pikir dari program tersebut. logika pemikiran dari program yang akan dibuat untuk menghasilkan grafik dimulai dari input hingga pemrosesan data hingga kemudian hasil proses data dapat diplot ke dalam grafik 2D yaitu hubungan antara Momen nominal dengan panjang balok. Panjang balok yang dipakai adalah sepanjang 12 m yang merupakan ukuran satu balok profil baja WF utuh yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel. Logika pemikiran program untuk menghitung momen nominal adalah sebagai berikut.

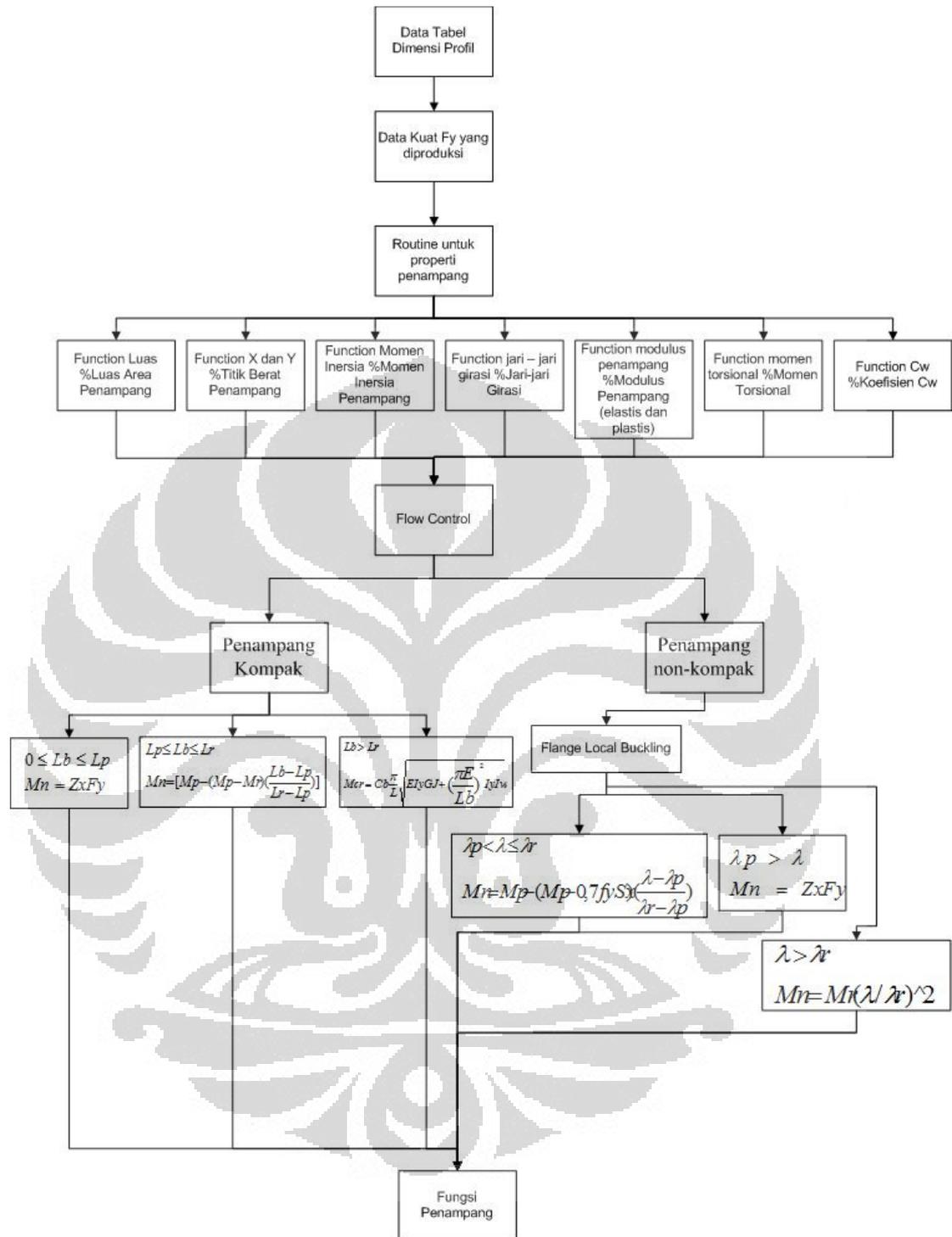


Diagram 2 Alur Pikir sub fungsi program.

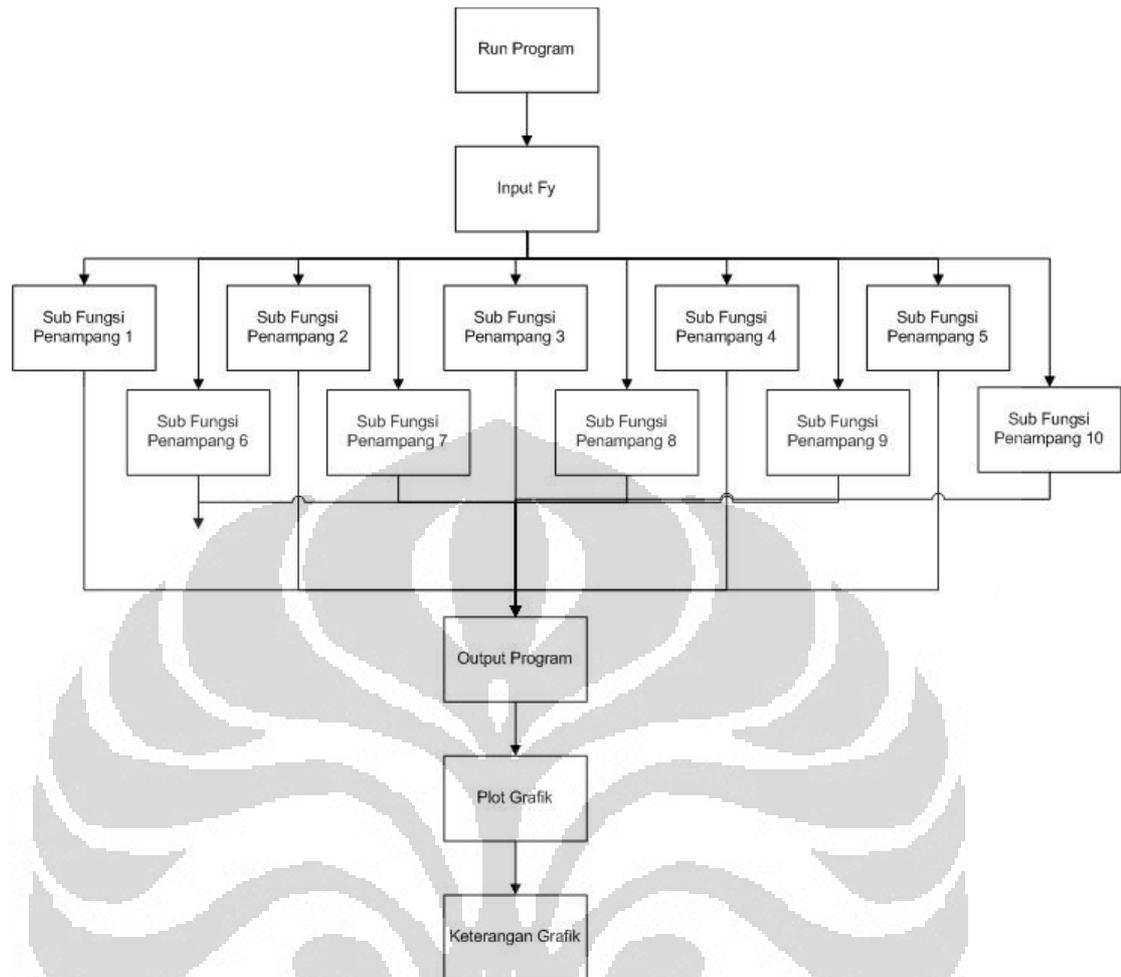


Diagram 3 Alur Pikir fungsi utama.

IV.2.6 Program Properti Penampang

Program awal yang dibuat adalah program untuk menghitung properti penampang dengan input berupa dimensi penampang. Karena di dalam perhitungan ini menggunakan dimensi yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel maka input dimensi disimpan sebagai variable konstan. Program perhitungan properti penampang adalah sebagai berikut.

```

function [Mn2]=Propex2 (Fy, Lb)
%~~~~~
%fungsi ini untuk menghitung momen nominal dari penampang baja
Wide flange
%dengan data - data penampang yang diproduksi di Indonesia
%asumsi nilai Cb = 1
%Data - data yang diperlukan didefenisikan di bawah ini, yaitu :
%
%x,y - coordinates of polygon corners in counterclockwise
sequence for
  
```

```

%positive area contributions
%H      - tinggi Penampang profil
%B      - lebar Penampang profil
%tw     - tebal elemen badan
%tf     - tebal elemen sayap
%r      - jari - jari pada hubungan antara sayap dan badan
%Fy     - Kuat leleh baja
%Lb     - Unbraced Length
% user m functions required :
%prop, seccheck, Mnkompak, MnNonkompak
%-----

%...Input Defenitions
tw=5;
tf=7;
B=50;
H=100;
r=8;
E=200000;
G=80000;
Cb=1;
Fr=70;

%...Gambar Penampang WF
c=((r/sin (67.5))*sin (45))*sin (22.5);
x=[0 B B (1/2*B)+(1/2*tw)+r (1/2*B)+(1/2*tw)+c (1/2*B)+(1/2*tw)
(1/2*B)+(1/2*tw) (1/2*B)+(1/2*tw)+c (1/2*B)+(1/2*tw)+r B B 0 0
(1/2*B)-(1/2*tw)-r (1/2*B)-(1/2*tw)-c (1/2*B)-(1/2*tw) (1/2*B)-
(1/2*tw) (1/2*B)-(1/2*tw)-c (1/2*B)-(1/2*tw)-r 0];
y=[0 0 tf tf tf+c tf+r H-tf-r H-tf-c H-tf H-tf H H H-tf H-tf H-tf-
c H-tf-r tf+r tf+c tf tf];

%...Menghitung Properti Penampang
%fungsi properti penampang
%
%seluruh input untuk program ini didefenisikan di dalam fungsi
setup
%-----
%-----
%menghitung Luas per elemen
A1=B*tf;
A2=tw*(0.5*H-tf);
A3=tw*(0.5*H-tf);
A4=B*tf;
A5=((4*r^2)-(0.25*pi*(2*r)^2))/4;
A6=((4*r^2)-(0.25*pi*(2*r)^2))/4;
A7=((4*r^2)-(0.25*pi*(2*r)^2))/4;
A8=((4*r^2)-(0.25*pi*(2*r)^2))/4;

%Luasan total
A=A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7+A8;

%Perhitungan titik berat penampang
x=((r^2*0.5*r)-(0.25*pi*r^2*(r-((4*r)/(3*pi)))))/(r^2-
0.25*pi*r^2);
cx=((A1*(1/2*B))+((A2)*(1/2*B))+((A3)*(1/2*B))+((A4*(1/2*B))...
+(A5*(((1/2)*B)-((1/2)*tw)-x))+((A6*(((1/2)*B)...

```

```

    + ((1/2)*tw+x)))+(A7*((1/2)*B)+((1/2)*tw+x)))+(A8*((1/2)*B)-
    ((1/2)*tw-x)))/A;
cy=((A1*(H-((1/2)*tf)))+(A2+A3)*(1/2*H)))+(A4*(1/2*tf)))+(A5*(H-
(tf+x)))...
    +(A6*(H-(tf+x)))+(A7*(tf+x)))+(A8*(tf+x)))/A;

```

```
%Perhitungan Inersia per segmen arah x
```

```

Ix1=(1/12)*B*tf^3;
Ix2=(1/12)*tw*(0.5*H-tf)^3;
Ix3=(1/12)*tw*(0.5*H-tf)^3;
Ix4=(1/12)*B*tf^3;
Ix5=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));
Ix6=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));
Ix7=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));
Ix8=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));

```

```
%Perhitungan Inersia per segmen arah y
```

```

Iy1=(1/12)*B^3*tf;
Iy2=(1/12)*tw^3*(0.5*H-tf);
Iy3=(1/12)*tw^3*(0.5*H-tf);
Iy4=(1/12)*B^3*tf;
Iy5=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));
Iy6=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));
Iy7=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));
Iy8=((1/12)*r^4)+((r^2)*((0.5*r-x)^2))-
(0.05498*r^4)+((0.25*pi*r^2)*((r-((4*r)/(3*pi))-x)^2));

```

```
%Jarak titik berat penampang ke titik berat elemen penampang
```

```

dy1=((cy)-(0.5*tf));
dy2=(cy-tf-((H-2*tf)/4));
dy3=(cy-tf-((H-2*tf)/4));
dy4=((cy)-(0.5*tf));
dy5=((cy)-tf-x);
dx1=(cx-(1/2*B))+(0.5*tw+x);

```

```
%perhitungan inersia total
```

```

Ix=Ix1+(A1*(dy1)^2)+Ix2+(A2*(dy2)^2)+Ix3+(A3*(dy3)^2)+Ix4+(A4*(d
y4)^2)+Ix5+(A5*(dy5)^2)+Ix6+(A6*(dy5)^2)+Ix7+(A7*(dy5)^2)+Ix8+(A8*
(dy5)^2);
Iy=Iy1+Iy2+Iy3+Iy4+Iy5+(A5*(dx1)^2)+Iy6+(A6*(dx1)^2)+Iy7+(A7*(dx1)
^2)+Iy8+(A8*(dx1)^2);

```

```
%perhitungan jari-jari girasi
```

```

rx=sqrt(Ix/A);
ry=sqrt(Iy/A);

```

```
%perhitungan momen torsional
```

```
J=((2*B*(tf^3))+((H-tf)*(tw^3)))/3;
```

```
% Modulus Penampang Plastis
```

```

y1=((A1*dy1)+(A2*dy2)+(A5*dy5)+(A6*dy5))/(A1+A2+A5+A6);
y2=((A4*dy1)+(A3*dy2)+(A7*dy5)+(A8*dy5))/(A4+A3+A7+A8);
Zx=(A/2)*(y1+y2);
x1=((A1/2)*(cx/2))+(((A2+A3)/2)*(tw/4))+(A6*dx1)+(A8*dx1)+((A4/2)
*(cx/2))/((A1/2)+((A2+A3)/2)+A6+A8+(A4/2));
x2=((A1/2)*(cx/2))+(((A2+A3)/2)*(tw/4))+(A5*dx1)+(A7*dx1)+((A4/2)
*(cx/2))/((A1/2)+((A2+A3)/2)+A5+A7+(A4/2));
Zy=(A/2)*(x1+x2);

% Modulus Penampang Plastis
Sx=Ix/(cy);
Sy=Iy/(cx);

```

IV.2.7 Program Cek Penampang

Program cek penampang berada di dalam satu fungsi yang sama dengan properti penampang. Perhitungannya berada pada baris setelah perhitungan properti penampang. Program untuk cek penampang adalah sebagai berikut,

```

%...Cek Penampang
LambdaF=B/(2*tf);
LambdapF=170/(sqrt(Fy));
% Tabel 7.5-1 SNI 03-1729-2002 catatan [c] Dianggap kapasitas
rotasi
% inelastis sebesar 3
LambdarF=370/(sqrt(Fy-Fr));
% Tabel 7.5-1 SNI 03-1729-2002 catatan [e] Untuk Penampang di roll
diambil
% nilai Fr = 70 Mpa
LambdaW=H/tw;
LambdapW=3.76*(sqrt(E/Fy));
LambdarW=5.70*(sqrt(E/Fy));

```

IV.2.8 Program Momen Nominal

Perhitungan momen nominal memerlukan batasan – batasan yaitu nilai L_p dan L_r . Nilai – nilai tersebut harus dihitung untuk kemudian dapat didefinisikan untuk perhitungan momen nominal. Hasil dari program cek penampang juga diperlukan untuk membuat *flow control* terhadap momen nominal di dalam kategori penampang apakah penampang tersebut termasuk penampang kompak atau non kompak. Program perhitungan nilai L_p dan L_r adalah sebagai berikut.

```

%...Menghitung Lp dan Lr
Iw=(((H-tf)^2)*(B^3)*tf)/24;
Mr=0.7*Fy*Sx;
Lp=1.76*ry*(sqrt(E/Fy));
X1=(pi/Sx)*(sqrt((E*G*J*A)/2));
X2=4*((Sx/(G*J))^2)*(Iw/Iy);

```

```

Fl=Fy-Fr;
Lr=ry*(X1/F1)*(sqrt(1+sqrt(1+(X2*(F1^2)))));

```

Setelah didapatkan nilai – nilai dari batasan L_p dan L_r maka kemudian dapat dilanjutkan dengan alur pikir untuk program momen nominal. Alur pikir dan program momen nominal adalah sebagai berikut.

```

if LambdaF<=LambdapF && LambdaW<=LambdapW
    %...Momen Nominal Penampang Kompak
    for L=1:length(Lb);
        if Lb(L)<=Lp
            Mn2(L)=Fy*Zx;
        elseif Lp<Lb(L) && Lb(L)<=Lr
            Mn2(L)=Cb*((Fy*Zx)-(((Fy*Zx)-Mr)*((Lb(L)-Lp)/(Lr-
Lp))));
        elseif Lb(L)>Lr
            Mn2(L)=((Cb*pi)/Lb(L))*(sqrt((E*Iy*G*J)+(((pi*E)/Lb(L))^2*Iy*Iw))
;
        end
    end
else
    %...Momen Nominal Penampang Non Kompak
    if 1<LambdaF && LambdaF<=LambdapF
        Mn2=Fy*Zx;
    elseif LambdapF<LambdaF && LambdaF<=LambdarF
        Mn2=((Fy*Zx)-(((Fy*Zx)-Mr)*((LambdaF-LambdapF)/(LambdarF-
LambdapF))));
    elseif LambdarF<Lambda(x)
        Mn2=Mr*((LambdarF/LambdaF)^2);
    end
end
end

```

fungsi *if* pada awal alur pikir adalah untuk mengontrol apakah penampang merupakan penampang kompak atau non kompak. Kemudian menempatkan nilai di bawah kondisi *if* tersebut sebagai fungsi yang akan dijalankan apabila kondisi dari *if* benar. Kondisi tersebut adalah nilai λ pada flens dan web. Apabila nilai λ keduanya lebih kecil dari λ_p masing – masing maka penampang merupakan penampang kompak dan menjalankan momen nominal untuk penampang kompak.

Selanjutnya, apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi maka penampang merupakan penampang non kompak. Kemudian program setelah kondisi *else* akan dijalankan, yaitu perhitungan momen nominal untuk penampang non kompak.

Perhitungan momen nominal menggunakan iterasi *Loop* sederhana dengan menggunakan perintah *for*. Untuk perputaran *for* diperlukan sebuah target dan hubungan dari target yang akan dilakukan perputaran. Target dalam hal ini adalah

Lb dengan jumlah elemen L dengan perintah *Length('Lb')*. Nilai Lb kemudian dikontrol dengan perintah *if, elseif*. Perputaran yang dijalankan akan mengidentifikasi nilai input Lb kemudian disesuaikan dengan *flow control*. Perputaran akan berjalan terus hingga kondisi yang dijalankan bernilai salah, kemudian program selanjutnya akan dijalankan.

Keluaran dibuat dengan perintah *disp* yaitu perintah untuk mengeluarkan nilai yang telah didefinisikan pada *command window*. Outputnya adalah sebagai berikut,

```
%...Output results
fprintf('\n\n Data - Data Penampang');
fprintf( '\ndari Penampang Baja Wide Flange');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\nSatuan dalam mm');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\n tw(mm): %g',tw);
fprintf( '\n tf(mm): %g',tf);
fprintf( '\n B(mm): %g',B);
fprintf( '\n H(mm): %g',H);
fprintf( '\n r(mm): %g',r);
fprintf('\n\n Properti Penampang');
fprintf( '\ndari Penampang Baja Wide Flange');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\n A(mm^2): %g',A);
fprintf( '\n cx(mm): %g',cx);
fprintf( '\n cy(mm): %g',cy);
fprintf( '\n Ix(mm^4): %g',Ix);
fprintf( '\n Iy(mm^4): %g',Iy);
fprintf( '\n rx(mm): %g',rx);
fprintf( '\n ry(mm): %g',ry);
fprintf( '\n J(mm^3): %g',J);
fprintf('\n\nModulus Penampang Plastis');
fprintf( '\ndari Penampang Baja Wide Flange');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\nSatuan dalam mm^3');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\n Zx(mm^3): %g',Zx);
fprintf( '\n Zy(mm^3): %g',Zy);
fprintf('\n\nModulus Penampang Elastis');
fprintf( '\ndari Penampang Baja Wide Flange');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\nSatuan dalam mm^3');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\n Sx(mm^3): %g',Sx);
fprintf( '\n Sy(mm^3): %g',Sy);
fprintf('\n\nCek Penampang');
fprintf( '\ndari Penampang Baja Wide Flange');
fprintf('\n Elemen Sayap Penampang WF');
fprintf('\n -----');
fprintf( '\n LambdaF: %g',LambdaF);
fprintf( '\n LambdapF: %g',LambdapF);
```

```

fprintf( '\n LambdarF: %g',LambdarF);
fprintf('\n\nDari Perhitungan di atas');
fprintf( '\ndapat disimpulkan bahwa');
fprintf( '\n-----');
if LambdaF<=LambdapF
    fprintf('\n Penampang Kompak');
elseif LambdapF<=LambdaF<=LambdarF
    fprintf('\n Penampang Non Kompak');
elseif LambdarF<=LambdaF
    fprintf('\n Penampang Langsing');
end
fprintf('\n Elemen Badan Penampang WF');
fprintf('\n -----');
fprintf( '\n LambdaW: %g',LambdaW);
fprintf( '\n LambdapW: %g',LambdapW);
fprintf( '\n LambdarW: %g',LambdarW);
fprintf('\n\nDari Perhitungan di atas');
fprintf( '\ndapat disimpulkan bahwa');
fprintf( '\n-----');
if LambdaW<=LambdapW
    fprintf('\n Penampang Kompak');
elseif LambdapW<=LambdaW<=LambdarW
    fprintf('\n Penampang Non Kompak');
elseif LambdarW<=LambdaW
    fprintf('\n Penampang Langsing');
end
fprintf('\n\nMomen Nominal');
fprintf( '\nPenampang Baja Profil Wide Flange');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\nSatuan dalam mm');
fprintf( '\n-----');
fprintf( '\n Lp (mm): %g',Lp);
fprintf( '\n Lr (mm): %g',Lr);
fprintf('\n\n');

```

seluruh fungsi ini kemudian disimpan dengan bentuk m file. Untuk penampang lainnya dibuat fungsi yang sama dengan input dimensi yang berbeda. Kemudian, seluruh fungsi tersebut juga disimpan dengan bentuk m file. Seluruh file tersebut harus berada pada satu direktori atau folder untuk memudahkan eksekusi program.

IV.2.9 Program utama

Program utama berisi input F_y yang didefinisikan ketika program utama ini dijalankan. Input F_y tersebut akan menjadi input bagi sub fungsi penampang yang telah dibuat sebelumnya. Serta L_b ditentukan nilainya, dalam hal ini disesuaikan dengan panjang balok utuh yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel yaitu 12 m.

```

%function:FungsiMn
%~~~~~
%fungsi ini untuk menghitung momen nominal dari penampang baja
Wide flange
%dengan data - data penampang yang diproduksi di Indonesia
%asumsi nilai Cb = 1
%Data - data yang diperlukan didefenisikan di bawah ini, yaitu :
%
%x,y      - coordinates of polygon corners in counterclockwise
sequence for
%positive area contributions
%H        - tinggi Penampang profil
%B        - lebar Penampang profil
%tw       - tebal elemen badan
%tf       - tebal elemen sayap
%r        - jari - jari pada hubungan antara sayap dan badan
%Fy       - Kuat leleh baja
%Lb       - Unbraced Length
% user m functions required :
%prop,seccheck,Mnkompak,MnNonkompak
%-----
clear;
%...Input Defenitions
disp('-----');
disp('Masukan Data');
disp('Fy dalam satuan Mpa');
disp('-----');
Fy=input('Fy= ');
Lb=1:150:12000;

```

Setelah nilai Fy dan Lb ditentukan, kemudian memanggil seluruh sub fungsi penampang yang telah dibuat sebelumnya untuk memproses data tersebut. programnya adalah sebagai berikut.

```

%...Menghitung Momen Nominal
[Mn2]=Propex2(Fy,Lb);
[Mn3]=Propex3(Fy,Lb);
[Mn4]=Propex4(Fy,Lb);
[Mn5]=Propex5(Fy,Lb);
[Mn6]=Propex6(Fy,Lb);
[Mn7]=Propex7(Fy,Lb);
[Mn8]=Propex8(Fy,Lb);
[Mn9]=Propex9(Fy,Lb);
[Mn10]=Propex10(Fy,Lb);
[Mn11]=Propex11(Fy,Lb);

```

Hasil dari program – program tersebut adalah nilai Momen nominal dari masing – masing penampang. Momen nominal tersebut diplot ke grafik 2D sebagai fungsi dari Lb atau panjang tak terkekang. Program untuk plot grafik yaitu.

```

%...Draw geometry

```

```

%...Momen Nominal Penampang
plot((Lb/1000), (Mn2/1000000), '-b');
grid on;
gtext('W100x9');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn3/1000000), '-g');
gtext('W125x13');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn4/1000000), '-r');
gtext('W150x14');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn5/1000000), '-c');
gtext('W150x21');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn6/1000000), '-m');
gtext('W175x18');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn7/1000000), '-y');
gtext('W200x18');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn8/1000000), '-k');
gtext('W200x21');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn9/1000000), '-.k');
gtext('W200x30');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn10/1000000), '--k');
gtext('W250x25');
hold on;
plot((Lb/1000), (Mn11/1000000), '--r');
gtext('W250x29');
xlabel('Lb(m)'); ylabel('Mn(Knm)'); axis('equal');
title('Grafik Hubungan Lb Dengan Mn');
legend('\it W100x9', '\it W152x13', '\it W150x14', '\it W150x21', ...
       '\it W175x18', '\it W200x18', '\it W200x21', '\it W200x30', ...
       '\it W250x25', '\it W250x29');
%genprint('Grafik Mn');

```

Untuk memudahkan pembacaan grafik, maka grafik dibuat legenda atau keterangan grafik serta teks yang menempel pada grafik. Legenda dibuat dengan menggunakan perintah *Legend*. Dan untuk teks dibuat dengan menggunakan perintah *gtext* ('teks yang akan dimasukkan pada grafik').

IV.2.10 Validasi Program

Validasi program menggunakan grafik yang sudah ada dari AISC. Namun, bentuk penampang baja WF yang ada pada AISC berbeda dengan penampang baja WF yang ada di Indonesia. Perbedaannya terdapat pada tambahan penampang yang ada di hubungan antara flens dan web. Hal ini tentunya akan mempengaruhi

nilai – nilai keluaran yang dikeluarkan oleh program ini. Karena perhitungan program ini berdasarkan penampang yang beredar di Indonesia.

Data penampang AISC yang digunakan adalah penampang W36x800. Data penampang dari W36x800 adalah sebagai berikut.

Tabel 16 Tabel Penampang baja WF AISC.(American Institute of Steel Construction,2007)

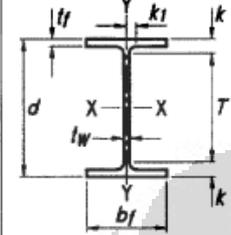


Table 1-1 (continued)
W Shapes
Dimensions

Shape	Area, A	Depth, d		Web			Flange		Distance						
				Thickness, tw		Width, bf	Thickness, tf	k		k1	T	Work- able Gage			
				in.	in.			in.	in.				in.	in.	
W36x800 ^h	236	42.6	42 1/2	2.38	2 3/8	1 3/16	18.0	18	4.29	4 5/16	5.24	5 9/16	2 3/8	31 3/8	7 1/2

Dikarenakan program ini menggunakan satuan SI maka data dimensi tersebut dikonversi menjadi satuan SI, yaitu.

$$t_w = 60,452 \text{ mm}$$

$$H = 1082,04 \text{ mm}$$

$$t_f = 108,966 \text{ mm}$$

$$r = k = 19,05 \text{ mm}$$

$$B = 457,2 \text{ mm}$$

$$F_y = 334,7379 \text{ Mpa}$$

Dari data penampang tersebut kemudian dijalankan dengan program hingga menghasilkan grafik hubungan momen nominal dengan L_b . Keluaran dari program tersebut dan AISC adalah sebagai berikut.

```
>> fungsiMn
```

```
-----  
Satuan dalam mm
```

```
Masukan Data
```

```
Fy dalam satuan Mpa
```

```
tw(mm) : 60.452
```

```
tf(mm) : 108.966
```

```
Fy= 344.7379
```

```
B(mm) : 457.2
```

```
H(mm) : 1082.04
```

```
r(mm) : 19.05
```

```
Data - Data Penampang  
dari Penampang Baja Wide Flange  
-----  
Program
```

```
Properti Penampang
```

```
dari Penampang Baja Wide Flange
```

A (mm ²): 152187	--
Ix (mm ⁴): 2.69923e+010	LambdaW: 17.8992
Iy (mm ⁴): 1.75202e+009	LambdapW: 90.5646
rx (mm): 421.145	LambdarW: 137.292
ry (mm): 107.295	
J (mm ³): 4.66012e+008	Dari Perhitungan di atas
	dapat disimpulkan bahwa

Modulus Penampang Plastis	
dari Penampang Baja Wide Flange	Penampang Kompak

Satuan dalam mm ³	Momen Nominal
	Penampang Baja Profil Wide
Zx (mm ³): 5.98957e+007	Flange
Zy (mm ³): 1.21889e+007	-----
	--
Modulus Penampang Elastis	Satuan dalam mm
dari Penampang Baja Wide Flange	-----
	Lp (mm): 4548.45
Satuan dalam mm ³	Lr (mm): 26595.6

Sx (mm ³): 4.98916e+007	
Sy (mm ³): 7.66413e+006	
	Data - Data Penampang
Cek Penampang	dari Penampang Baja Wide Flange
dari Penampang Baja Wide Flange	-----
Elemen Sayap Penampang WF	Satuan dalam mm

--	tw (mm): 60.452
LambdaF: 2.0979	tf (mm): 108.966
LambdapF: 9.15597	B (mm): 457.2
LambdarF: 22.3225	H (mm): 1082.04
	r (mm): 19.05
Dari Perhitungan di atas	
dapat disimpulkan bahwa	Properti Penampang
-----	dari Penampang Baja Wide Flange
Penampang Kompak	-----
Elemen Badan Penampang WF	AISC

$A(\text{mm}^2)$: 152258 Λ_W : 17.8992
 $I_x(\text{mm}^4)$: 2.69302e+010 Λ_{dP_W} : 90.5646
 $I_y(\text{mm}^4)$: 1.74817e+009 Λ_{dR_W} : 137.292
 $r_x(\text{mm})$: 420.562
 $r_y(\text{mm})$: 107.153
 $J(\text{mm}^4)$: 4.66012e+008

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

Modulus Penampang Plastis
dari Penampang Baja Wide Flange

Penampang Kompak

 Satuan dalam mm^3 Momen Nominal

 Penampang Baja Profil Wide
 Flange

$Z_x(\text{mm}^3)$: 5.98128e+007
 $Z_y(\text{mm}^3)$: 1.21756e+007

 Satuan dalam mm

Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide Flange

$L_p(\text{mm})$: 4541.52
 $L_r(\text{mm})$: 28895

 Satuan dalam mm^3

$S_x(\text{mm}^3)$: 4.98167e+007
 $S_y(\text{mm}^3)$: 7.65276e+006

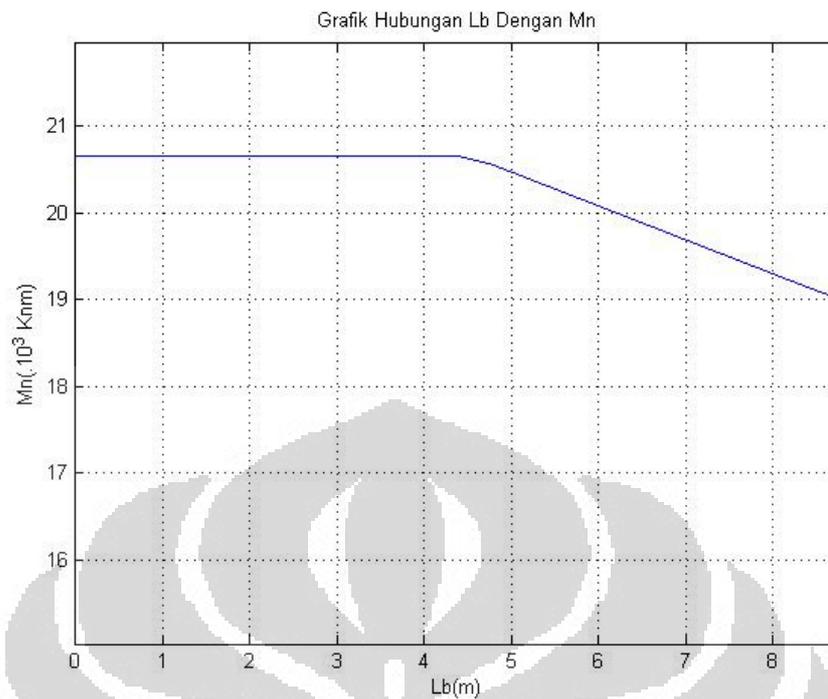
Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide Flange
Elemen Sayap Penampang WF

Λ_F : 2.0979
 Λ_{dP_F} : 9.15597
 Λ_{dR_F} : 22.3225

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

 Penampang Kompak
 Elemen Badan Penampang WF

 --



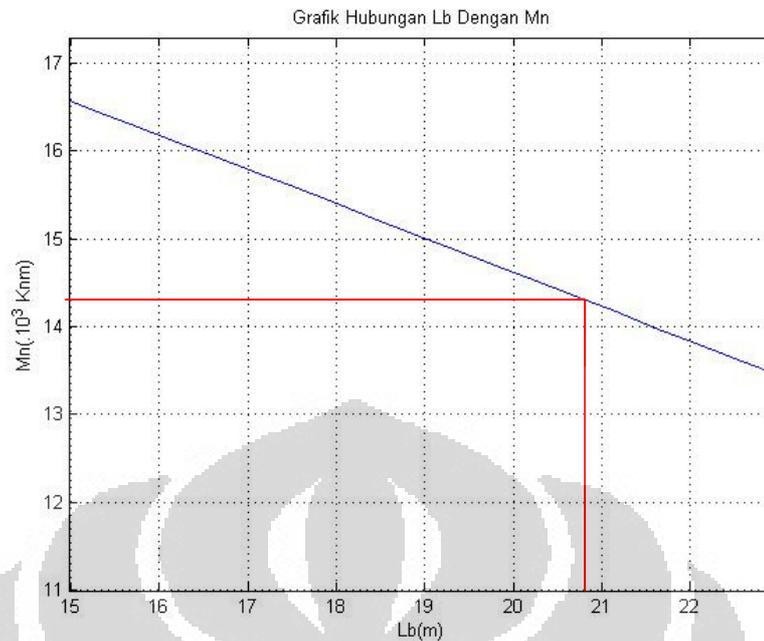
Gambar 4. 6 Grafik Mn versus Lb dari output program untuk penampang AISC W36x800 (Lb < Lp).

Dari hasil grafik tersebut untuk nilai M_p adalah sebesar $20,7 \cdot 10^3$ Knm. Nilai M_p yang ada di AISC adalah sebagai berikut.

$$M_p = 13687,5/\phi \text{ kip-ft} = 13687,5/0,9 \text{ kip-ft} = 15208,333 \text{ kip-ft} = 21,0267 \cdot 10^3 \text{ Knm}$$

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

$$n = \frac{(21,0267 \cdot 10^3 - 20,7 \cdot 10^3)}{18,92365 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 1,172 \%$$



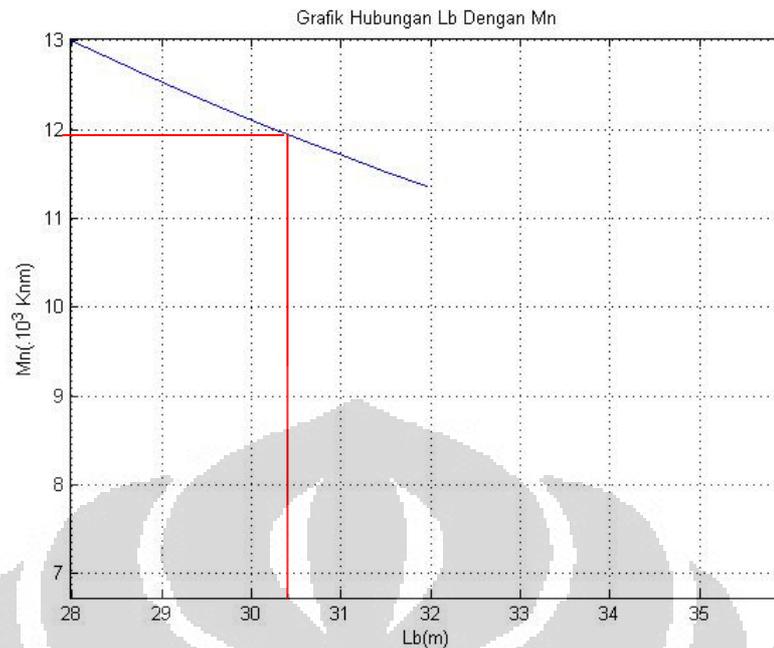
Gambar 4. 7 Grafik Mn versus Lb dari output program untuk penampang AISC W36x800 (Lp<Lb<Lr).

Untuk nilai Momen nominal dengan nilai Lb diantara nilai Lp dan Lr adalah sebesar $14,3 \cdot 10^3$ Knm (diambil satu titik yaitu pada $Lb = 68 \text{ ft} = 20,7264 \text{ m}$). Nilai Mn yang ada di AISC adalah sebagai berikut.

$$M_p = 9900/\phi \text{ kip-ft} = 9900/0,9 \text{ kip-ft} = 11000 \text{ kip-ft} = 15,208 \cdot 10^3 \text{ Knm}$$

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

$$n = \frac{(15,208 \cdot 10^3 - 14,3 \cdot 10^3)}{15,208 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 5,97\%$$



Gambar 4. 8 Grafik Mn versus Lb dari output program untuk penampang AISC W36x800 (Lb>Lr).

Kemudian, untuk nilai Momen nominal dengan nilai Lb lebih dari Lr adalah sebesar $11,9 \cdot 10^3$ Knm (diambil satu titik yaitu pada $L_b = 100 \text{ ft} = 30,48 \text{ m}$). Nilai Mn yang ada di AISC adalah sebagai berikut.

$$M_p = 7600/\phi \text{ kip-ft} = 7600/0,9 \text{ kip-ft} = 8444,44 \text{ kip-ft} = 11,674 \cdot 10^3 \text{ Knm}$$

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

$$n = \frac{(11,9 \cdot 10^3 - 11,674 \cdot 10^3)}{11,674 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 1,92\%$$

Untuk nilai – nilai pada properti penampang adalah sebagai berikut.

- a. Luas Penampang

$$A = 236 \text{ inch}^2 = 152257,76 \text{ mm}^2 \text{ (American Institute of Steel Construction)}$$

$$A = 152187 \text{ mm}^2 \text{ (Output program)}$$

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

$$n = \frac{(152257,76 - 152187)}{152257,76} \cdot 100\% = 0,0464 \%$$

b. Momen Inersia Penampang

$I_x = 64700 \text{ inch}^4 = 26930173236,32 \text{ mm}^4$ (*American Institute of Steel Construction*)

$I_x = 26992300000 \text{ mm}^4$ (Output program)

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

$$n = \frac{(26992300000 - 26930173236,32)}{26930173236,32} \cdot 100\% = 0,231 \%$$

$I_y = 4200 \text{ inch}^4 = 1748171987,52 \text{ mm}^4$ (*American Institute of Steel Construction*)

$I_y = 1752020000 \text{ mm}^4$ (Output program)

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

$$n = \frac{(1752020000 - 1748171987,52)}{1748171987,52} \cdot 100\% = 0,214 \%$$

c. Modulus Penampang Plastis

$Z_x = 3650 \text{ inch}^3 = 59812783,6 \text{ mm}^3$ (*American Institute of Steel Construction*)

$Z_x = 59895700 \text{ mm}^3$ (Output program)

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

$$n = \frac{(5989570 - 59812783,6)}{59812783,6} \cdot 100\% = 0,138 \%$$

$Z_y = 743 \text{ inch}^3 = 12175588,552 \text{ mm}^3$ (*American Institute of Steel Construction*)

$Z_y = 12188900 \text{ mm}^3$ (Output program)

Maka perbedaan nilai yang dari hasil keluaran program dengan AISC adalah sebesar

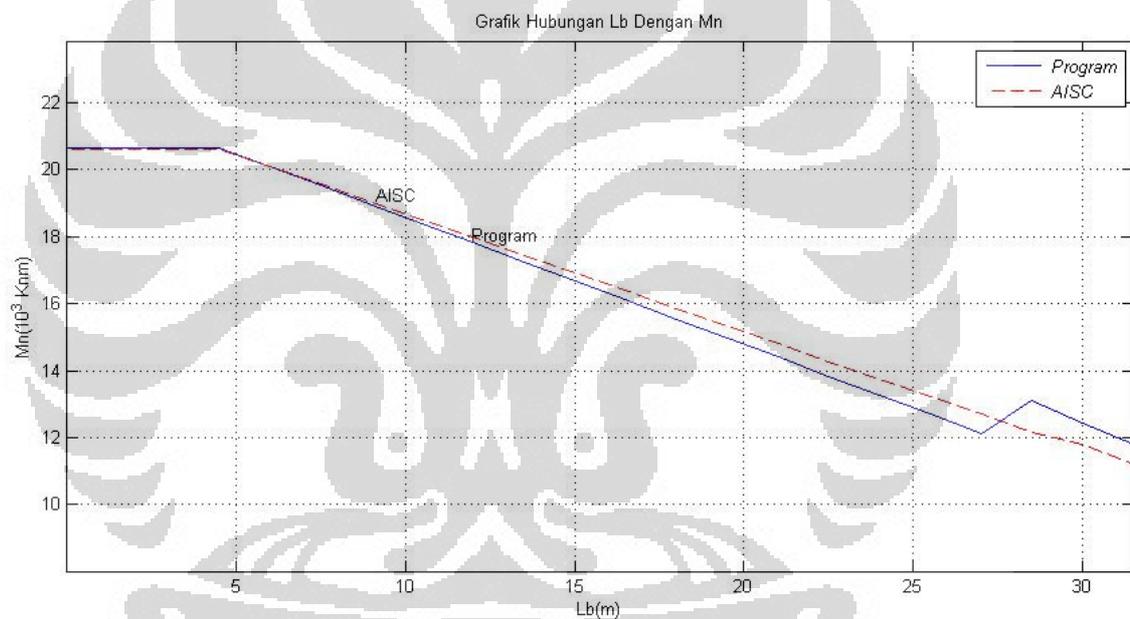
$$n = \frac{(12188900 - 12175588,552)}{12175588,552} \cdot 100\% = 0,109\%$$

Dengan demikian nilai keluaran dari program mendekati nilai dari AISC.

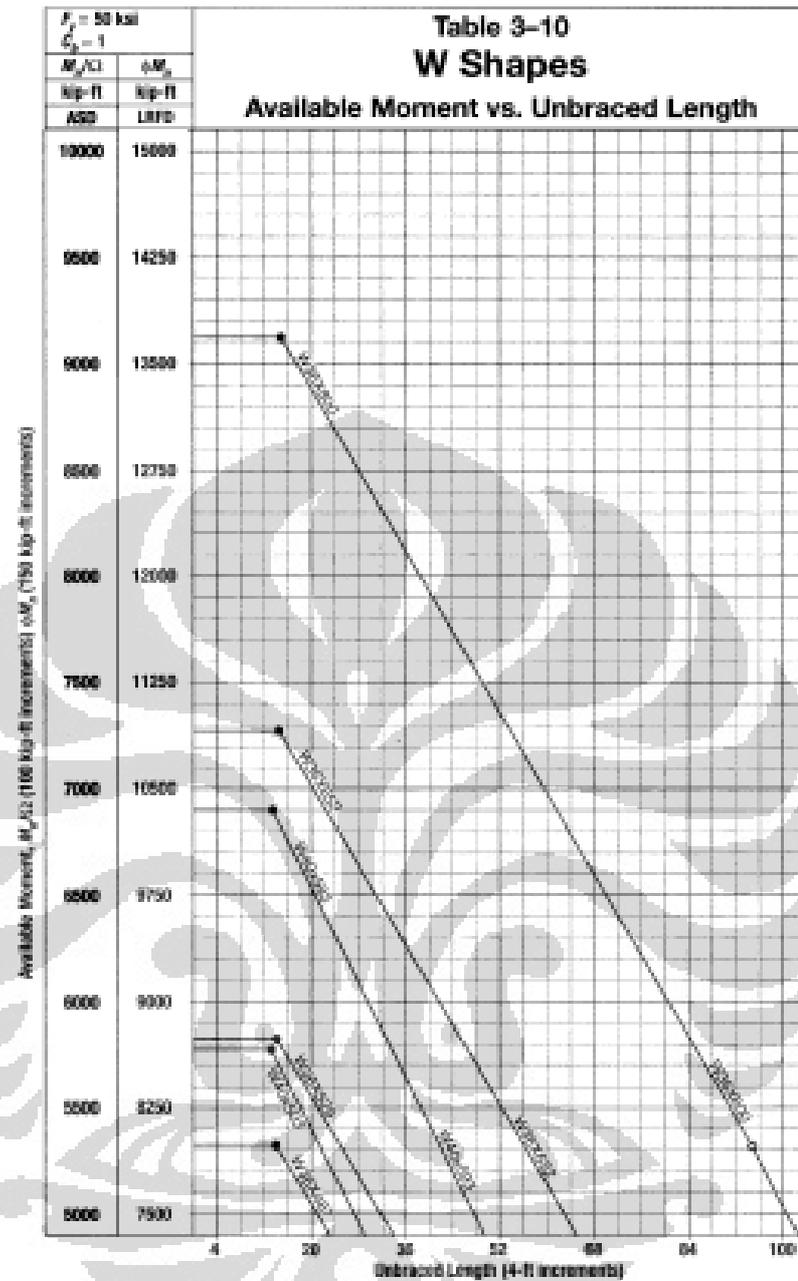
Tabel 17. Tabel Perbandingan hasil keluaran program dengan AISC.

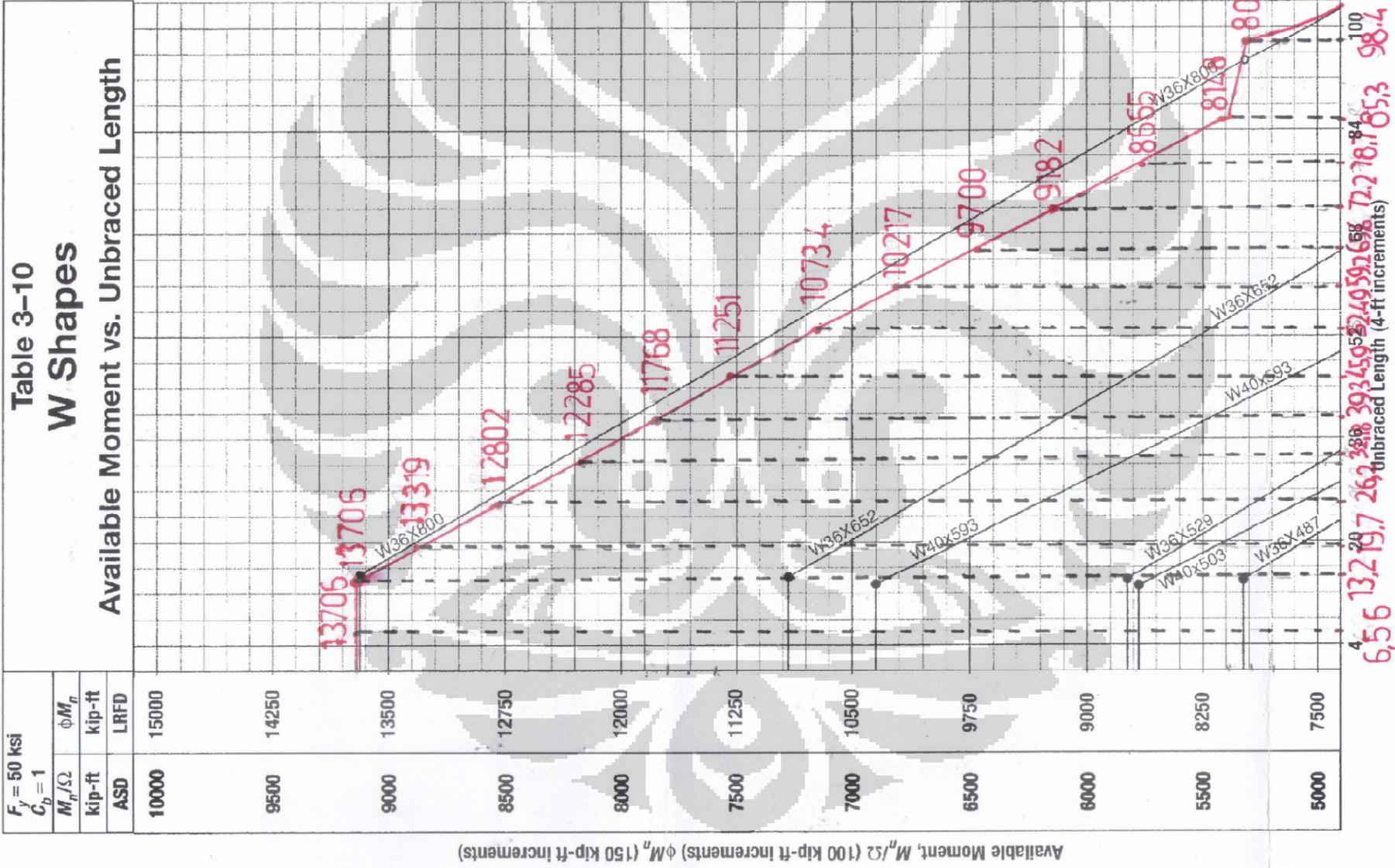
No.	Notasi	AISC		Program mm	Deviasi (%)
		inch	mm		

1	A	236	152257,76	152187	0,046474
2	lx	64700	26930173236	2,70E+10	0,230696
3	ly	4200	1748171988	1,75E+09	0,220116
4	rx	16,6	421,64	421	0,117399
5	ry	4,22	107,188	107	0,099825
6	Sx	3040	49816674,56	4,99E+07	0,150402
7	Sy	467	7652758,888	7,66E+06	0,148588
8	Zx	3650	59812783,6	5,99E+07	0,138627
9	Zy	743	12175588,55	1,22E+07	0,109329
10	J	1060	441205311,1	4,66E+08	5,622482
11	lw	1540000	4,13545E+14	4,11E+14	0,650046
12	Lp	14,9	4541,52	4548,45	0,152592
13	Lr	94,8	28895,04	26595,6	7,957906



Gambar 4. 9 Perbandingan Gambar grafik hubungan momen nominal versus *unbraced length* AISC dengan output program.





AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Grafik strength lentur memiliki tiga kondisi yaitu keadaan stabil, terjadi tekuk torsi lateral inelastis, dan tekuk torsi lateral elastis. Ketiga kondisi ini dibatasi oleh nilai L_p dan L_r , sehingga menjadikan grafik strength lentur ini merupakan fungsi dari L_b .
2. Hasil dari keluaran program berupa grafik dari seluruh penampang yang dikeluarkan oleh PT. Krakatau Steel dengan 4 mutu baja yang berbeda. Sesuai dengan batasan masalah F_y maksimum sebesar 400 Mpa tidak lebih dari 450 Mpa. Hasil keluaran berupa grafik terdapat di dalam lampiran.
3. Hasil dari keluaran program juga berupa nilai dari seluruh properti penampang dari penampang baja WF yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel.
4. Alur pemikiran program sama dengan alur perhitungan manual untuk menghitung momen nominal penampang.
5. Hasil validasi dari program yaitu nilai yang dihasilkan mendekati dengan nilai pada grafik AISC yang sudah ada dengan memasukkan dimensi penampang AISC tersebut. Untuk luas penampang memiliki deviasi sebesar 0,046%, momen inersia sebesar 0,231% untuk I_x dan 0,214% untuk I_y , serta untuk modulus penampang plastis sebesar 0,138% untuk Z_x dan 0,109% untuk Z_y . Momen plastis sendiri memiliki deviasi sebesar 1,172%.
6. Nilai momen torsional dihasilkan dari rumus yang dikemukakan oleh Galambos tahun 1968. Rumus tersebut mengabaikan penampang tambahan pada sambungan antara flens dan web. Dikarenakan hal tersebut maka perberdaan antara nilai yang dihasilkan oleh program dengan nilai pada AISC adalah sebesar 5%.
7. Rumus yang digunakan untuk menghitung L_r menggunakan rumus SNI 03-1729-2002 yang nilainya lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan L_r menggunakan rumus AISC 2007, sehingga mengakibatkan grafik

memiliki perbedaan nilai pada titik perubahan dari daerah $L_p < L_b < L_r$ ke daerah $L_b > L_r$. Perbedaan nilai L_r tersebut sebesar 7%.

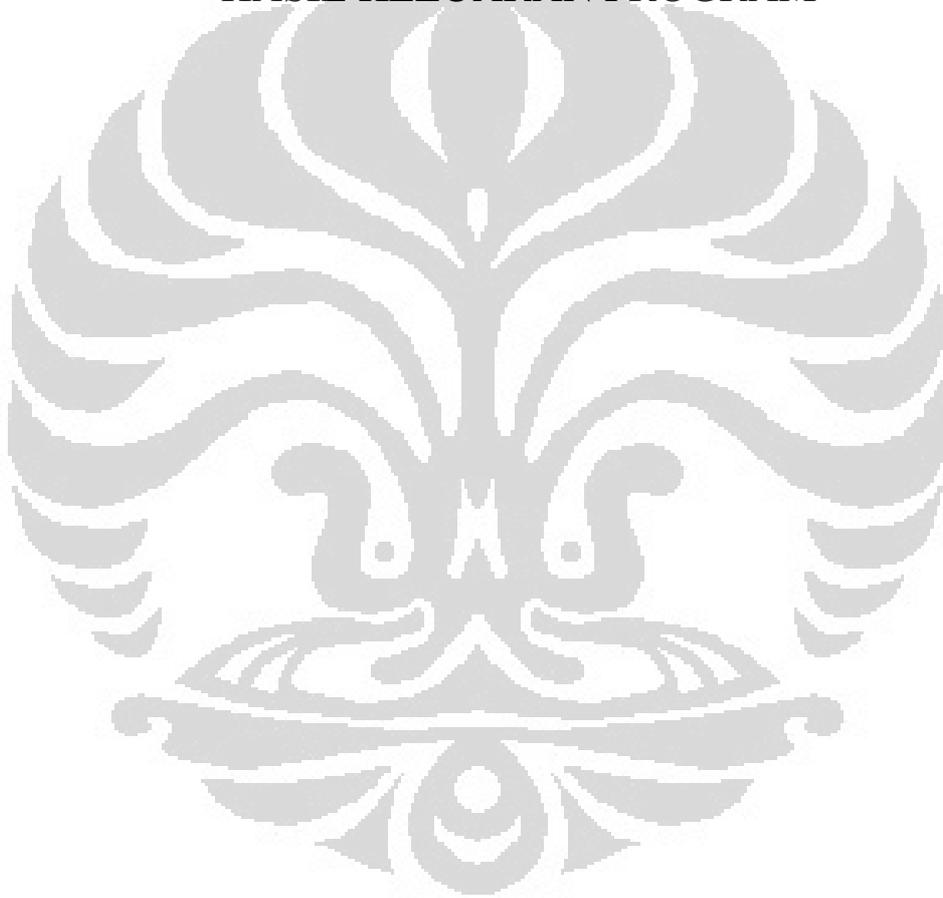
5.2 Saran

1. Di dalam Perhitungan titik berat sebenarnya dapat dilakukan secara langsung namun, pemisahan perhitungan untuk penampang pada takikan hubungan flens dan web dengan penampang secara keseluruhan dilakukan secara terpisah untuk memudahkan perhitungan terutama di dalam menghitung momen Inersia penampang.
2. Untuk melakukan pemrograman di dalam MATLAB[®] sebaiknya membuat logika pemikiran alur dari perhitungan yang akan dilakukan yaitu dengan menetapkan masukan, formula yang digunakan, hingga keluaran yang dikehendaki.
3. Perintah yang digunakan di dalam *flow control* (*if,elseif*) untuk perhitungan momen nominal adalah perintah *for* dengan maksud agar eksekusi program lebih cepat dibandingkan dengan perintah *while* di dalam MATLAB[®].

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. (2007). *AISC Steel Construction Manual 13th Edition*. United States of America: AISC.
- Away, G. A. (2010). *MATLAB Programing*. Jakarta: Informatika.
- Brockenbrough, R. L., & Merritt, F. S. (1999). *STRUCTURAL STEEL DESIGNER'S HANDBOOK*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Galambos, T. V. (1998). *GUIDE TO STABILITY CRITERIA FOR METAL STRUCTURES*. 605 Third Avenue, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Johnston, B. G., Lin, F.-J., & Galambos, T. V. (1980). *BASIC STEEL DESIGN, Second Edition*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Kiusalaas, J. (2010). *Numerical Methods in Engineering with MATLAB*. New York: Cambridge University Press.
- Marchand, P., & Holland, O. T. (2003). *Graphics and GUI's with MATLAB, Third Edition*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Salmon, C. G., & Johnson, J. E. (1980). *STEEL STRUCTURES. Design and Behavior*. Madison: Harper & Row.
- Segui, W. T. (2007). *STEEL DESIGN*. Canada: Nelson, a Division of Thomson Canada.
- SNI 03 -1729. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Turcotte, L. H., & Wilson, H. B. (1998). *Computer Applications in Mechanics of Materials Using MATLAB*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- www.mathworks.com

LAMPIRAN 1
HASIL KELUARAN PROGRAM



LAMPIRAN
HASIL KELUARAN PROGRAM

FY = 205 Mpa

>> fungsiMn

```

-----
Masukan Data                               Modulus Penampang Elastis
Fy dalam satuan Mpa                         dari Penampang Baja Wide
-----                                     Flange
-----                                     -----
Fy= 205                                     -
                                           Satuan dalam mm^3
-----
Data - Data Penampang                       -
dari Penampang Baja Wide                   Zx(mm^3): 44059.2
Flange                                       Zy(mm^3): 9523.02
-----
-                                           Modulus Penampang Elastis
Satuan dalam mm                             dari Penampang Baja Wide
-----                                     Flange
-----                                     -----
tw(mm): 5                                   -
tf(mm): 7                                   Satuan dalam mm^3
-----                                     -----
B(mm): 50                                   -
H(mm): 100                                  -
r(mm): 8                                     Sx(mm^3): 37561.7
                                           Sy(mm^3): 6042.14
-----
Properti Penampang                          Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide                   dari Penampang Baja Wide
Flange                                       Flange
-----                                     -----
-                                           Elemen Sayap Penampang WF
-----                                     -----
A(mm^2): 1184.94                            ---
cx(mm): 25                                  LambdaF: 3.57143
cy(mm): 50                                  LambdapF: 11.8733
Ix(mm^4): 1.87808e+006                      LambdarF: 31.8445
Iy(mm^4): 151054
rx(mm): 39.8116
ry(mm): 11.2906                             Dari Perhitungan di atas
J(mm^4): 15308.3                             dapat disimpulkan bahwa
Iw(mm^6): 3.15328e+008

```

-----	B (mm) : 60
-	H (mm) : 125
Penampang Kompak	r (mm) : 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
	Flange
LambdaW: 20	-----
LambdaP: 117.443	-
LambdaR: 178.038	
Dari Perhitungan di atas	A (mm ²) : 1668.94
dapat disimpulkan bahwa	cx (mm) : 30
-----	cy (mm) : 62.5
-	Ix (mm ⁴) : 4.09396e+006
Penampang Kompak	Iy (mm ⁴) : 294536
Momen Nominal	rx (mm) : 49.5281
Penampang Baja Profil Wide	ry (mm) : 13.2846
Flange	J (mm ⁴) : 28904
-----	Iw (mm ⁶) : 9.85608e+008
---	Modulus Penampang Plastis
Satuan dalam mm	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	
Lp (mm) : 620.681	Satuan dalam mm ³
Lr (mm) : 3833.05	-----
	-
	Zx (mm ³) : 76877.5
	Zy (mm ³) : 15644
Data - Data Penampang	Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide	dari Penampang Baja Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	-
Satuan dalam mm	Satuan dalam mm ³
-----	-----
-	-
tw (mm) : 6	
tf (mm) : 8	Sx (mm ³) : 65503.4

Sy (mm³): 9817.85

Lr (mm): 4242.11

Cek Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

Elemen Sayap Penampang WF

LambdaF: 3.75

LambdaP: 11.8733

LambdaR: 31.8445

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 20.8333

LambdaP: 117.443

LambdaR: 178.038

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Momen Nominal

Penampang Baja Profil Wide

Flange

Satuan dalam mm

-

Lp (mm): 730.297

Data - Data Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm

-

tw (mm): 5

tf (mm): 7

B (mm): 75

H (mm): 150

r (mm): 8

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

A (mm²): 1784.94

cx (mm): 37.5

cy (mm): 75

Ix (mm⁴): 6.66443e+006

Iy (mm⁴): 497929

rx (mm): 61.104

ry (mm): 16.7021

J (mm⁴): 23108.3

Iw (mm⁶): 2.51619e+009

Modulus Penampang Plastis

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm³

-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 101833	-
Zy(mm ³): 20773	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 88859.1	Lp(mm): 918.169
Sy(mm ³): 13278.1	Lr(mm): 3860.42
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
LambdaF: 5.35714	-
Lambda _p F: 11.8733	Satuan dalam mm
Lambda _r F: 31.8445	-----
-	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 6
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 9
-----	B(mm): 100
-	H(mm): 148
Penampang Kompak	r(mm): 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
LambdaW: 30	Flange
Lambda _p W: 117.443	-----
Lambda _r W: 178.038	-
Dari Perhitungan di atas	A(mm ²): 2634.94
	cx(mm): 50

cy(mm): 74	
Ix(mm ⁴): 1.00279e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 1.50691e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 61.6908	-----
ry(mm): 23.9144	-
J(mm ⁴): 58608	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 7.24538e+009	Elemen Badan Penampang WF

Modulus Penampang Plastis	---
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 24.6667
Flange	LambdapW: 117.443
-----	LambdarW: 178.038
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 153923	-
Zy(mm ³): 46433	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	
Sx(mm ³): 135513	Lp(mm): 1314.65
Sy(mm ³): 30138.3	Lr(mm): 6672.79
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 5.55556	-
LambdapF: 11.8733	Satuan dalam mm
LambdarF: 31.8445	

-----	Satuan dalam mm ³
-	-----
tw(mm): 5	-
tf(mm): 8	Sx(mm ³): 137802
B(mm): 90	Sy(mm ³): 21732.9
H(mm): 175	
r(mm): 8	Cek Penampang
	dari Penampang Baja Wide
Properti Penampang	Flange
dari Penampang Baja Wide	Elemen Sayap Penampang WF
Flange	-----
-	LambdaF: 5.625
A(mm ²): 2289.94	LambdaF: 11.8733
cx(mm): 45	LambdaF: 31.8445
cy(mm): 87.5	
Ix(mm ⁴): 1.20577e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 977981	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 72.5638	-----
ry(mm): 20.6658	-
J(mm ⁴): 37678.3	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 6.77703e+009	Elemen Badan Penampang WF

Modulus Penampang Plastis	
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 35
Flange	LambdaW: 117.443
-----	LambdaW: 178.038
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 156111	-
Zy(mm ³): 33629.3	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---

Satuan dalam mm	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
Lp(mm): 1136.07	-
Lr(mm): 4523.34	Satuan dalam mm ³

	-
Data - Data Penampang	Zx(mm ³): 175407
dari Penampang Baja Wide	Zy(mm ³): 35456.8
Flange	Modulus Penampang Elastis
-----	dari Penampang Baja Wide
-	Flange
Satuan dalam mm	-----
-----	-
-	Satuan dalam mm ³

tw(mm): 4.5	-
tf(mm): 7	Sx(mm ³): 155887
B(mm): 99	Sy(mm ³): 22982.3
H(mm): 198	
r(mm): 8	
Properti Penampang	Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide	dari Penampang Baja Wide
Flange	Flange
-----	Elemen Sayap Penampang WF
-	-----
A(mm ²): 2268.94	LambdaF: 7.07143
cx(mm): 49.5	LambdapF: 11.8733
cy(mm): 99	LambdarF: 31.8445
Ix(mm ⁴): 1.54328e+007	
Iy(mm ⁴): 1.13762e+006	Dari Perhitungan di atas
rx(mm): 82.4729	dapat disimpulkan bahwa
ry(mm): 22.3917	-----
J(mm ⁴): 28439.6	-
Iw(mm ⁶): 1.03243e+010	Penampang Kompak
Modulus Penampang Plastis	Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 44	dari Penampang Baja Wide
LambdapW: 117.443	Flange
LambdarW: 178.038	-----
	-
Dari Perhitungan di atas	A(mm ²): 2666.94
dapat disimpulkan bahwa	cx(mm): 50
-----	cy(mm): 100
-	Ix(mm ⁴): 1.80597e+007
Penampang Kompak	Iy(mm ⁴): 1.34033e+006
	rx(mm): 82.2904
Momen Nominal	ry(mm): 22.4181
Penampang Baja Profil Wide	J(mm ⁴): 44781.3
Flange	Iw(mm ⁶): 1.2288e+010

---	Modulus Penampang Plastis
Satuan dalam mm	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
Lp(mm): 1230.94	-
Lr(mm): 4177.99	Satuan dalam mm ³

	-
Data - Data Penampang	Zx(mm ³): 205108
dari Penampang Baja Wide	Zy(mm ³): 41640.8
Flange	Modulus Penampang Elastis
-----	dari Penampang Baja Wide
-	Flange
Satuan dalam mm	-----
-----	-
-	Satuan dalam mm ³

tw(mm): 5.5	-
tf(mm): 8	
B(mm): 100	Sx(mm ³): 180597
H(mm): 200	Sy(mm ³): 26806.6
r(mm): 8	
Properti Penampang	Cek Penampang
	dari Penampang Baja Wide
	Flange

Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 6.25	-
LambdaF: 11.8733	Satuan dalam mm
LambdaF: 31.8445	-----
	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 6
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 9
-----	B(mm): 150
-	H(mm): 194
Penampang Kompak	r(mm): 8
Elemen Badan Penampang WF	Properti Penampang
-----	dari Penampang Baja Wide
---	Flange
LambdaW: 36.3636	-----
LambdaW: 117.443	-
LambdaW: 178.038	A(mm ²): 3810.94
Dari Perhitungan di atas	cx(mm): 75
dapat disimpulkan bahwa	cy(mm): 97
-----	Ix(mm ⁴): 2.62576e+007
-	Iy(mm ⁴): 5.07024e+006
Penampang Kompak	rx(mm): 83.0065
	ry(mm): 36.4753
Momen Nominal	J(mm ⁴): 86220
Penampang Baja Profil Wide	Iw(mm ⁶): 4.3316e+010
Flange	-----
-----	Modulus Penampang Plastis
---	dari Penampang Baja Wide
Satuan dalam mm	Flange
-----	-----
-	-
Lp(mm): 1232.4	Satuan dalam mm ³
Lr(mm): 4590.15	-----
	-
	Zx(mm ³): 300950
	Zy(mm ³): 103097
Data - Data Penampang	

Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

-

Satuan dalam mm³

Sx(mm³): 270697
Sy(mm³): 67603.2

Momen Nominal
Penampang Baja Profil Wide
Flange

-

Satuan dalam mm

Lp(mm): 2005.16
Lr(mm): 7875.46

Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange
Elemen Sayap Penampang WF

-

-

LambdaF: 8.33333
LambdapF: 11.8733
LambdarF: 31.8445

Data - Data Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

-

Satuan dalam mm

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

-

Penampang Kompak
Elemen Badan Penampang WF

tw(mm): 5
tf(mm): 8
B(mm): 124
H(mm): 248
r(mm): 8

-

LambdaW: 32.3333
LambdapW: 117.443
LambdarW: 178.038

Properti Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

-

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

-

Penampang Kompak

A(mm²): 3198.94
cx(mm): 62
cy(mm): 124
Ix(mm⁴): 3.45031e+007
Iy(mm⁴): 2.54891e+006
rx(mm): 103.855
ry(mm): 28.2276

J(mm ⁴): 52325.3	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 3.66072e+010	Elemen Badan Penampang WF

Modulus Penampang Elastis	---
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 49.6
Flange	LambdaPw: 117.443
-----	LambdaDw: 178.038
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 311635	-
Zy(mm ³): 63189.5	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 278251	Lp(mm): 1551.76
Sy(mm ³): 41111.4	Lr(mm): 5016.45
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
-	-
LambdaF: 7.75	
LambdaPwF: 11.8733	Satuan dalam mm
LambdaDwF: 31.8445	-----
	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 6
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 9
-----	B(mm): 125
-	H(mm): 250

r (mm): 8	Cek Penampang
Properti Penampang	dari Penampang Baja Wide
dari Penampang Baja Wide	Flange
Flange	Elemen Sayap Penampang WF
-----	-----
-	-
A (mm ²): 3696.94	LambdaF: 6.94444
cx (mm): 62.5	LambdaF: 11.8733
cy (mm): 125	LambdaF: 31.8445
Ix (mm ⁴): 3.96493e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy (mm ⁴): 2.93844e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx (mm): 103.561	-----
ry (mm): 28.1927	-
J (mm ⁴): 78102	Penampang Kompak
Iw (mm ⁶): 4.25398e+010	Elemen Badan Penampang WF
-----	-----
Modulus Penampang Plastis	-----
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 41.6667
Flange	LambdaW: 117.443
-----	LambdaW: 178.038
-	-
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx (mm ³): 358136	-
Zy (mm ³): 72663.5	Penampang Kompak
-----	-----
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx (mm ³): 317194	Lp (mm): 1549.84
Sy (mm ³): 47015	Lr (mm): 5379.76

LAMPIRAN
HASIL KELUARAN PROGRAM
FY = 245 Mpa

```

>> fungsiMn                J(mm^4):  15308.3
-----                    Iw(mm^6):  3.15328e+008

Masukan Data
Fy dalam satuan Mpa        Modulus Penampang Elastis
-----                    dari Penampang Baja Wide
Fy= 245                    Flange
-----

Data - Data Penampang     Satuan dalam mm^3
dari Penampang Baja Wide
Flange                    -----
-----                    Zx(mm^3):  44059.2
-----                    Zy(mm^3):  9523.02
Satuan dalam mm
-----                    Modulus Penampang Elastis
-----                    dari Penampang Baja Wide
tw(mm):  5                Flange
tf(mm):  7                -----
B(mm):  50                -
H(mm):  100              Satuan dalam mm^3
r(mm):  8                -----
-----

Properti Penampang        Sx(mm^3):  37561.7
dari Penampang Baja Wide Sy(mm^3):  6042.14
Flange
-----

-----                    Cek Penampang
-----                    dari Penampang Baja Wide
A(mm^2):  1184.94        Flange
cx(mm):  25              Elemen Sayap Penampang WF
cy(mm):  50              -----
Ix(mm^4):  1.87808e+006  ---
Iy(mm^4):  151054        LambdaF:  3.57143
rx(mm):  39.8116        LambdapF:  10.8609
ry(mm):  11.2906        LambdarF:  27.9694

```

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak
Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 20
LambdapW: 107.429
LambdarW: 162.857

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak
Momen Nominal
Penampang Baja Profil Wide
Flange

Satuan dalam mm

-

Lp(mm): 567.757
Lr(mm): 2988.64

-

Data - Data Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

Satuan dalam mm

-

tw(mm): 6
tf(mm): 8
B(mm): 60
H(mm): 125
r(mm): 8

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

A(mm²): 1668.94
cx(mm): 30
cy(mm): 62.5
Ix(mm⁴): 4.09396e+006
Iy(mm⁴): 294536
rx(mm): 49.5281
ry(mm): 13.2846
J(mm⁴): 28904
Iw(mm⁶): 9.85608e+008

Modulus Penampang Plastis

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm³

-

Zx(mm³): 76877.5
Zy(mm³): 15644

Modulus Penampang Elastis

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 65503.4	Lp(mm): 668.026
Sy(mm ³): 9817.85	Lr(mm): 3318.51
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 3.75	-
Lambda _p F: 10.8609	Satuan dalam mm
Lambda _r F: 27.9694	-----
	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 5
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 7
-----	B(mm): 75
-	H(mm): 150
Penampang Kompak	r(mm): 8
Elemen Badan Penampang WF	Properti Penampang
-----	dari Penampang Baja Wide
---	Flange
LambdaW: 20.8333	-----
Lambda _p W: 107.429	-
Lambda _r W: 162.857	A(mm ²): 1784.94
Dari Perhitungan di atas	cx(mm): 37.5
dapat disimpulkan bahwa	cy(mm): 75
-----	Ix(mm ⁴): 6.66443e+006
-	Iy(mm ⁴): 497929
Penampang Kompak	rx(mm): 61.104
	ry(mm): 16.7021
Momen Nominal	J(mm ⁴): 23108.3
Penampang Baja Profil Wide	Iw(mm ⁶): 2.51619e+009
Flange	
-----	Modulus Penampang Plastis

dari Penampang Baja Wide
Flange

LambdaW: 30
LambdapW: 107.429
LambdarW: 162.857

Satuan dalam mm³

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

Zx(mm³): 101833
Zy(mm³): 20773

Penampang Kompak

Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide
Flange

Momen Nominal
Penampang Baja Profil Wide
Flange

Satuan dalam mm³

Satuan dalam mm

Sx(mm³): 88859.1
Sy(mm³): 13278.1

Lp(mm): 839.879
Lr(mm): 3100.63

Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange
Elemen Sayap Penampang WF

Data - Data Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

LambdaF: 5.35714
LambdapF: 10.8609
LambdarF: 27.9694

Satuan dalam mm

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

tw(mm): 6
tf(mm): 9
B(mm): 100
H(mm): 148
r(mm): 8

Penampang Kompak
Elemen Badan Penampang WF

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide
Flange

Elemen Sayap Penampang WF

-
A(mm²): 2634.94
cx(mm): 50
cy(mm): 74
Ix(mm⁴): 1.00279e+007
Iy(mm⁴): 1.50691e+006
rx(mm): 61.6908
ry(mm): 23.9144
J(mm⁴): 58608
Iw(mm⁶): 7.24538e+009

LambdaF: 5.55556
LambdapF: 10.8609
LambdarF: 27.9694

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

Modulus Penampang Plastis
dari Penampang Baja Wide
Flange

LambdaW: 24.6667
LambdapW: 107.429
LambdarW: 162.857

Satuan dalam mm³

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

Zx(mm³): 153923
Zy(mm³): 46433

Penampang Kompak

Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide
Flange

Momen Nominal
Penampang Baja Profil Wide
Flange

Satuan dalam mm³

Satuan dalam mm

Sx(mm³): 135513
Sy(mm³): 30138.3

Lp(mm): 1202.55
Lr(mm): 5248.32

Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

Data - Data Penampang

dari Penampang Baja Wide Flange	Modulus Penampang Elastis dari Penampang Baja Wide Flange
-----	-----
-	-
Satuan dalam mm	Satuan dalam mm ³
-----	-----
-	-
tw(mm): 5	Sx(mm ³): 137802
tf(mm): 8	Sy(mm ³): 21732.9
B(mm): 90	
H(mm): 175	
r(mm): 8	
Properti Penampang dari Penampang Baja Wide Flange	Cek Penampang dari Penampang Baja Wide Flange
-----	-----
-	-
A(mm ²): 2289.94	LambdaF: 5.625
cx(mm): 45	LambdapF: 10.8609
cy(mm): 87.5	LambdarF: 27.9694
Ix(mm ⁴): 1.20577e+007	Dari Perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa
Iy(mm ⁴): 977981	-----
rx(mm): 72.5638	-
ry(mm): 20.6658	Penampang Kompak
J(mm ⁴): 37678.3	Elemen Badan Penampang WF
Iw(mm ⁶): 6.77703e+009	-----
-----	-----
Modulus Penampang Plastis dari Penampang Baja Wide Flange	LambdaW: 35
-----	LambdapW: 107.429
-	LambdarW: 162.857
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa
-----	-----
-	-
Zx(mm ³): 156111	Penampang Kompak
Zy(mm ³): 33629.3	

Momen Nominal	J(mm ⁴): 28439.6
Penampang Baja Profil Wide Flange	Iw(mm ⁶): 1.03243e+010
-----	Modulus Penampang Plastis
---	dari Penampang Baja Wide Flange
Satuan dalam mm	-----
-	-
Lp(mm): 1039.2	Satuan dalam mm ³
Lr(mm): 3651.81	-----
-	-
	Zx(mm ³): 175407
	Zy(mm ³): 35456.8
Data - Data Penampang	Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide Flange	dari Penampang Baja Wide Flange
-----	-----
Satuan dalam mm	Satuan dalam mm ³
-----	-----
-	-
tw(mm): 4.5	Sx(mm ³): 155887
tf(mm): 7	Sy(mm ³): 22982.3
B(mm): 99	
H(mm): 198	Cek Penampang
r(mm): 8	dari Penampang Baja Wide Flange
Properti Penampang	Elemen Sayap Penampang WF
dari Penampang Baja Wide Flange	-----
-----	-----
-	LambdaF: 7.07143
A(mm ²): 2268.94	LambdapF: 10.8609
cx(mm): 49.5	LambdarF: 27.9694
cy(mm): 99	
Ix(mm ⁴): 1.54328e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 1.13762e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 82.4729	-----
ry(mm): 22.3917	-

Penampang Kompak	r (mm) : 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
	Flange

LambdaW: 44	-
LambdaPw: 107.429	A (mm ²) : 2666.94
LambdaRw: 162.857	cx (mm) : 50
	cy (mm) : 100
Dari Perhitungan di atas	Ix (mm ⁴) : 1.80597e+007
dapat disimpulkan bahwa	Iy (mm ⁴) : 1.34033e+006
-----	-
Penampang Kompak	rx (mm) : 82.2904
	ry (mm) : 22.4181
Momen Nominal	J (mm ⁴) : 44781.3
Penampang Baja Profil Wide	Iw (mm ⁶) : 1.2288e+010
Flange	
-----	Modulus Penampang Plastis
---	dari Penampang Baja Wide
	Flange
Satuan dalam mm	-----
	-
Lp (mm) : 1125.98	Satuan dalam mm ³
Lr (mm) : 3463.03	-----
	-
	Zx (mm ³) : 205108
	Zy (mm ³) : 41640.8
Data - Data Penampang	
dari Penampang Baja Wide	Modulus Penampang Elastis
Flange	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
	-
Satuan dalam mm	Satuan dalam mm ³
-----	-----
	-
tw (mm) : 5.5	
tf (mm) : 8	Sx (mm ³) : 180597
B (mm) : 100	Sy (mm ³) : 26806.6
H (mm) : 200	

Cek Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

Elemen Sayap Penampang WF

LambdaF: 6.25

Lambda_pF: 10.8609

Lambda_rF: 27.9694

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 36.3636

Lambda_pW: 107.429

Lambda_rW: 162.857

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Momen Nominal

Penampang Baja Profil Wide

Flange

Satuan dalam mm

-

L_p (mm): 1127.31

L_r (mm): 3749.53

Data - Data Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm

-

tw (mm): 6

tf (mm): 9

B (mm): 150

H (mm): 194

r (mm): 8

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

A (mm²): 3810.94

c_x (mm): 75

c_y (mm): 97

I_x (mm⁴): 2.62576e+007

I_y (mm⁴): 5.07024e+006

r_x (mm): 83.0065

r_y (mm): 36.4753

J (mm⁴): 86220

I_w (mm⁶): 4.3316e+010

Modulus Penampang Plastis

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm³

-

Zx(mm ³):	300950	-----
Zy(mm ³):	103097	-
		Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis		
dari Penampang Baja Wide		Momen Nominal
Flange		Penampang Baja Profil Wide
-----		Flange
-		-----
Satuan dalam mm ³		---
-----		Satuan dalam mm
-		-----
Sx(mm ³):	270697	-
Sy(mm ³):	67603.2	Lp(mm): 1834.18
		Lr(mm): 6343.38
Cek Penampang		
dari Penampang Baja Wide		
Flange		
Elemen Sayap Penampang WF		Data - Data Penampang
-----		dari Penampang Baja Wide
-		Flange
LambdaF:	8.33333	-----
LambdaP:	10.8609	-
LambdaR:	27.9694	Satuan dalam mm

Dari Perhitungan di atas		-
dapat disimpulkan bahwa		tw(mm): 5
-----		tf(mm): 8
-		B(mm): 124
Penampang Kompak		H(mm): 248
Elemen Badan Penampang WF		r(mm): 8

---		Properti Penampang
LambdaW:	32.3333	dari Penampang Baja Wide
LambdaP:	107.429	Flange
LambdaR:	162.857	-----
		-
Dari Perhitungan di atas		A(mm ²): 3198.94
dapat disimpulkan bahwa		cx(mm): 62
		cy(mm): 124

Ix(mm ⁴): 3.45031e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 2.54891e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 103.855	-----
ry(mm): 28.2276	-
J(mm ⁴): 52325.3	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 3.66072e+010	Elemen Badan Penampang WF

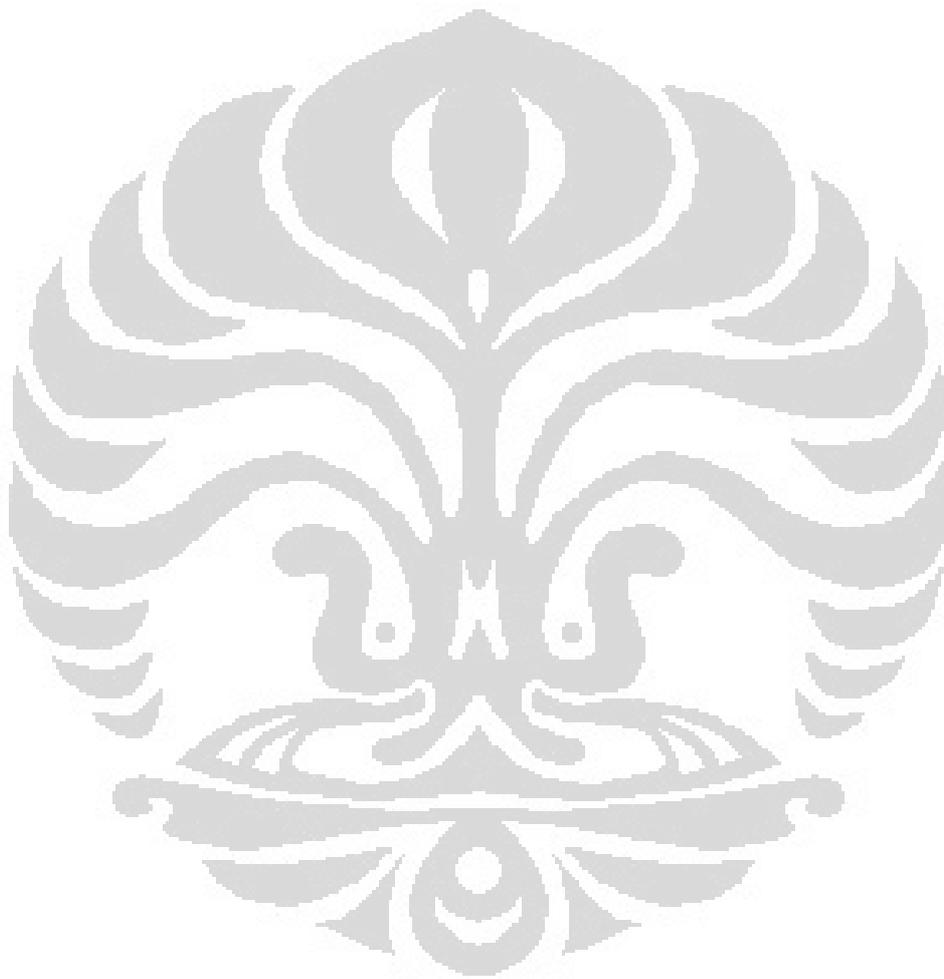
Modulus Penampang Plastis	---
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 49.6
Flange	LambdaPw: 107.429
-----	LambdaRw: 162.857
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 311635	-
Zy(mm ³): 63189.5	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 278251	Lp(mm): 1419.45
Sy(mm ³): 41111.4	Lr(mm): 4194.8
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 7.75	-
LambdaPwF: 10.8609	Satuan dalam mm
LambdaRwF: 27.9694	-----
	-

tw(mm): 6	-----
tf(mm): 9	-
B(mm): 125	Sx(mm ³): 317194
H(mm): 250	Sy(mm ³): 47015
r(mm): 8	
	Cek Penampang
Properti Penampang	dari Penampang Baja Wide
dari Penampang Baja Wide	Flange
Flange	Elemen Sayap Penampang WF
-----	-----
-	-
A(mm ²): 3696.94	LambdaF: 6.94444
cx(mm): 62.5	LambdaF: 10.8609
cy(mm): 125	LambdaF: 27.9694
Ix(mm ⁴): 3.96493e+007	
Iy(mm ⁴): 2.93844e+006	Dari Perhitungan di atas
rx(mm): 103.561	dapat disimpulkan bahwa
ry(mm): 28.1927	-----
J(mm ⁴): 78102	-
Iw(mm ⁶): 4.25398e+010	Penampang Kompak
	Elemen Badan Penampang WF
Modulus Penampang Plastis	-----
dari Penampang Baja Wide	---
Flange	LambdaW: 41.6667
-----	LambdaW: 107.429
-	LambdaW: 162.857
Satuan dalam mm ³	-----
-----	Dari Perhitungan di atas
-	dapat disimpulkan bahwa
Zx(mm ³): 358136	-----
Zy(mm ³): 72663.5	-
	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	
dari Penampang Baja Wide	Momen Nominal
Flange	Penampang Baja Profil Wide
-----	Flange
-	-----
Satuan dalam mm ³	---
	Satuan dalam mm

-

Lp (mm) : 1417.69

Lr (mm) : 4445.31



LAMPIRAN
HASIL KELUARAN PROGRAM
FY = 285 Mpa

```

>> fungsiMn                ry(mm):  11.2906
-----                    J(mm^4):  15308.3
Masukan Data                Iw(mm^6):  3.15328e+008
Fy dalam satuan Mpa
-----                    Modulur Penampang Plastis
Fy= 285                     dari Penampang Baja Wide
                             Flange
-----                    -----
Data - Data Penampang      -
dari Penampang Baja Wide   Satuan dalam mm^3
Flange                      -----
-----                    -----
Satuan dalam mm            Zx(mm^3):  44059.2
                             Zy(mm^3):  9523.02
-----                    -----
-                           Modulur Penampang Elastis
                             dari Penampang Baja Wide
                             Flange
                             -----
tw(mm):  5
tf(mm):  7
B(mm):  50
H(mm):  100
r(mm):  8
                             Satuan dalam mm^3
                             -----
Properti Penampang
dari Penampang Baja Wide   Sx(mm^3):  37561.7
Flange                      Sy(mm^3):  6042.14
-----                    -----
-                           Cek Penampang
                             dari Penampang Baja Wide
                             Flange
                             Elemen Sayap Penampang WF
                             -----
A(mm^2):  1184.94
cx(mm):  25
cy(mm):  50
Ix(mm^4):  1.87808e+006
Iy(mm^4):  151054
rx(mm):  39.8116
                             LambdaF:  3.57143

```

LambdapF: 10.0699	Satuan dalam mm
LambdarF: 25.2338	-----
	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 6
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 8
-----	B(mm): 60
-	H(mm): 125
Penampang Kompak	r(mm): 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
LambdaW: 20	Flange
LambdapW: 99.6048	-----
LambdarW: 150.997	-
	A(mm ²): 1668.94
Dari Perhitungan di atas	cx(mm): 30
dapat disimpulkan bahwa	cy(mm): 62.5
-----	Ix(mm ⁴): 4.09396e+006
-	Iy(mm ⁴): 294536
Penampang Kompak	rx(mm): 49.5281
	ry(mm): 13.2846
Momen Nominal	J(mm ⁴): 28904
Penampang Baja Profil Wide	Iw(mm ⁶): 9.85608e+008
Flange	
-----	Modulus Penampang Plastis
---	dari Penampang Baja Wide
Satuan dalam mm	Flange

-	
Lp(mm): 526.408	Satuan dalam mm ³
Lr(mm): 2463.33	-----
	-
	Zx(mm ³): 76877.5
	Zy(mm ³): 15644
Data - Data Penampang	
dari Penampang Baja Wide	Modulus Penampang Elastis
Flange	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	

-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 65503.4	Lp(mm): 619.376
Sy(mm ³): 9817.85	Lr(mm): 2744.99
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 3.75	-
LambdapF: 10.0699	Satuan dalam mm
LambdarF: 25.2338	-----
-	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 5
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 7
-----	B(mm): 75
-	H(mm): 150
Penampang Kompak	r(mm): 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
LambdaW: 20.8333	Flange
LambdapW: 99.6048	-----
LambdarW: 150.997	-
-	A(mm ²): 1784.94
Dari Perhitungan di atas	cx(mm): 37.5
dapat disimpulkan bahwa	cy(mm): 75
-----	Ix(mm ⁴): 6.66443e+006
-	Iy(mm ⁴): 497929
Penampang Kompak	rx(mm): 61.104
	ry(mm): 16.7021
Momen Nominal	J(mm ⁴): 23108.3
Penampang Baja Profil Wide	Iw(mm ⁶): 2.51619e+009
Flange	

Modulus Penampang Elastis	-----
dari Penampang Baja Wide	---
Flange	LambdaW: 30
-----	LambdapW: 99.6048
-	LambdarW: 150.997
Satuan dalam mm ³	
-----	Dari Perhitungan di atas
-	dapat disimpulkan bahwa
Zx(mm ³): 101833	-----
Zy(mm ³): 20773	-
	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	-----
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 88859.1	Lp(mm): 778.713
Sy(mm ³): 13278.1	Lr(mm): 2629.25
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
-	-
LambdaF: 5.35714	Satuan dalam mm
LambdapF: 10.0699	-----
LambdarF: 25.2338	-
Dari Perhitungan di atas	-
dapat disimpulkan bahwa	tw(mm): 6
-----	tf(mm): 9
-	B(mm): 100
Penampang Kompak	H(mm): 148
Elemen Badan Penampang WF	r(mm): 8

Properti Penampang	dari Penampang Baja Wide	dari Penampang Baja Wide
dari Penampang Baja Wide	Flange	Flange
Flange	Elemen Sayap Penampang WF	Elemen Sayap Penampang WF
-----	-----	-----
-	---	---
A(mm ²): 2634.94	LambdaF: 5.55556	LambdaF: 5.55556
cx(mm): 50	LambdaF: 10.0699	LambdaF: 10.0699
cy(mm): 74	LambdaF: 25.2338	LambdaF: 25.2338
Ix(mm ⁴): 1.00279e+007		
Iy(mm ⁴): 1.50691e+006	Dari Perhitungan di atas	Dari Perhitungan di atas
rx(mm): 61.6908	dapat disimpulkan bahwa	dapat disimpulkan bahwa
ry(mm): 23.9144	-----	-----
J(mm ⁴): 58608	-	-
Iw(mm ⁶): 7.24538e+009	Penampang Kompak	Penampang Kompak
	Elemen Badan Penampang WF	Elemen Badan Penampang WF
Modulus Penampang Plastis	-----	-----
dari Penampang Baja Wide	---	---
Flange	LambdaW: 24.6667	LambdaW: 24.6667
-----	LambdaW: 99.6048	LambdaW: 99.6048
-	LambdaW: 150.997	LambdaW: 150.997
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa	dapat disimpulkan bahwa
-	-----	-----
Zx(mm ³): 153923	-	-
Zy(mm ³): 46433	Penampang Kompak	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	-----	-----
dari Penampang Baja Wide	Momen Nominal	Momen Nominal
Flange	Penampang Baja Profil Wide	Penampang Baja Profil Wide
-----	Flange	Flange
-	-----	-----
Satuan dalam mm ³	---	---
-----	Satuan dalam mm	Satuan dalam mm
-	-----	-----
Sx(mm ³): 135513	-	-
Sy(mm ³): 30138.3	Lp(mm): 1114.97	Lp(mm): 1114.97
	Lr(mm): 4365.67	Lr(mm): 4365.67
Cek Penampang		

	Zy(mm ³): 33629.3
Data - Data Penampang	
dari Penampang Baja Wide	Modulus Penampang Elastis
Flange	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
Satuan dalam mm	-
-----	Satuan dalam mm ³
-	-----
tw(mm): 5	-
tf(mm): 8	Sx(mm ³): 137802
B(mm): 90	Sy(mm ³): 21732.9
H(mm): 175	
r(mm): 8	Cek Penampang
	dari Penampang Baja Wide
Properti Penampang	Flange
dari Penampang Baja Wide	Elemen Sayap Penampang WF
Flange	-----

-	LambdaF: 5.625
A(mm ²): 2289.94	LambdapF: 10.0699
cx(mm): 45	LambdarF: 25.2338
cy(mm): 87.5	
Ix(mm ⁴): 1.20577e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 977981	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 72.5638	-----
ry(mm): 20.6658	-
J(mm ⁴): 37678.3	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 6.77703e+009	Elemen Badan Penampang WF

Modulus Penampang Plastis	-----
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 35
Flange	LambdapW: 99.6048
-----	LambdarW: 150.997
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 156111	-

Penampang Kompak	rx(mm) : 82.4729
	ry(mm) : 22.3917
Momen Nominal	J(mm ⁴) : 28439.6
Penampang Baja Profil Wide	Iw(mm ⁶) : 1.03243e+010
Flange	
-----	Modulus Penampang Plastis
---	dari Penampang Baja Wide
Satuan dalam mm	Flange
-----	-----
-	-
Lp(mm) : 963.515	Satuan dalam mm ³
Lr(mm) : 3109.84	-----
	-
	Zx(mm ³) : 175407
	Zy(mm ³) : 35456.8
Data - Data Penampang	
dari Penampang Baja Wide	Modulus Penampang Elastis
Flange	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
Satuan dalam mm	-
-----	Satuan dalam mm ³
-	-----
tw(mm) : 4.5	-
tf(mm) : 7	Sx(mm ³) : 155887
B(mm) : 99	Sy(mm ³) : 22982.3
H(mm) : 198	
r(mm) : 8	Cek Penampang
	dari Penampang Baja Wide
Properti Penampang	Flange
dari Penampang Baja Wide	Elemen Sayap Penampang WF
Flange	-----
-----	---
-	-
A(mm ²) : 2268.94	LambdaF : 7.07143
cx(mm) : 49.5	Lambda _p F : 10.0699
cy(mm) : 99	Lambda _r F : 25.2338
Ix(mm ⁴) : 1.54328e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴) : 1.13762e+006	dapat disimpulkan bahwa

-----	B (mm) : 100
-	H (mm) : 200
Penampang Kompak	r (mm) : 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
	Flange
LambdaW: 44	-----
LambdaP: 99.6048	-
LambdaR: 150.997	
Dari Perhitungan di atas	A (mm ²) : 2666.94
dapat disimpulkan bahwa	cx (mm) : 50
-----	cy (mm) : 100
-	Ix (mm ⁴) : 1.80597e+007
Penampang Kompak	Iy (mm ⁴) : 1.34033e+006
Momen Nominal	rx (mm) : 82.2904
Penampang Baja Profil Wide	ry (mm) : 22.4181
Flange	J (mm ⁴) : 44781.3
-----	Iw (mm ⁶) : 1.2288e+010
---	Modulus Penampang Plastis
Satuan dalam mm	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	
Lp (mm) : 1043.98	Satuan dalam mm ³
Lr (mm) : 3008.31	-----
	-
	Zx (mm ³) : 205108
Data - Data Penampang	Zy (mm ³) : 41640.8
dari Penampang Baja Wide	Modulus Penampang Elastis
Flange	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
Satuan dalam mm	-
-----	Satuan dalam mm ³
-	-----
	-
tw (mm) : 5.5	
tf (mm) : 8	Sx (mm ³) : 180597

Sy (mm³): 26806.6

Lr (mm): 3222.63

Cek Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

Elemen Sayap Penampang WF

LambdaF: 6.25

Lambda_pF: 10.0699

Lambda_rF: 25.2338

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Elemen Badan Penampang WF

Lambda_W: 36.3636

Lambda_pW: 99.6048

Lambda_rW: 150.997

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Momen Nominal

Penampang Baja Profil Wide

Flange

Satuan dalam mm

-

Lp (mm): 1045.21

Data - Data Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm

-

tw (mm): 6

tf (mm): 9

B (mm): 150

H (mm): 194

r (mm): 8

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

A (mm²): 3810.94

cx (mm): 75

cy (mm): 97

I_x (mm⁴): 2.62576e+007

I_y (mm⁴): 5.07024e+006

r_x (mm): 83.0065

r_y (mm): 36.4753

J (mm⁴): 86220

I_w (mm⁶): 4.3316e+010

Modulus Penampang Plastis

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

Satuan dalam mm³

-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 300950	-
Zy(mm ³): 103097	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 270697	Lp(mm): 1700.61
Sy(mm ³): 67603.2	Lr(mm): 5391.72
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
LambdaF: 8.33333	-
Lambda _p F: 10.0699	Satuan dalam mm
Lambda _r F: 25.2338	-----
-	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 5
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 8
-----	B(mm): 124
-	H(mm): 248
Penampang Kompak	r(mm): 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
LambdaW: 32.3333	Flange
Lambda _p W: 99.6048	-----
Lambda _r W: 150.997	-
Dari Perhitungan di atas	A(mm ²): 3198.94
	cx(mm): 62

cy(mm): 124	
Ix(mm ⁴): 3.45031e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 2.54891e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 103.855	-----
ry(mm): 28.2276	-
J(mm ⁴): 52325.3	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 3.66072e+010	Elemen Badan Penampang WF

Modulus Penampang Plastis	---
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 49.6
Flange	LambdapW: 99.6048
-----	LambdarW: 150.997
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 311635	-
Zy(mm ³): 63189.5	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	
Sx(mm ³): 278251	Lp(mm): 1316.07
Sy(mm ³): 41111.4	Lr(mm): 3666.34
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 7.75	-
LambdapF: 10.0699	Satuan dalam mm
LambdarF: 25.2338	

-----	Satuan dalam mm ³
-	-----
tw(mm): 6	-
tf(mm): 9	Sx(mm ³): 317194
B(mm): 125	Sy(mm ³): 47015
H(mm): 250	
r(mm): 8	Cek Penampang
	dari Penampang Baja Wide
Properti Penampang	Flange
dari Penampang Baja Wide	Elemen Sayap Penampang WF
Flange	-----
-----	-----
-	LambdaF: 6.94444
A(mm ²): 3696.94	LambdaF: 10.0699
cx(mm): 62.5	LambdaF: 25.2338
cy(mm): 125	
Ix(mm ⁴): 3.96493e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 2.93844e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 103.561	-----
ry(mm): 28.1927	-
J(mm ⁴): 78102	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 4.25398e+010	Elemen Badan Penampang WF

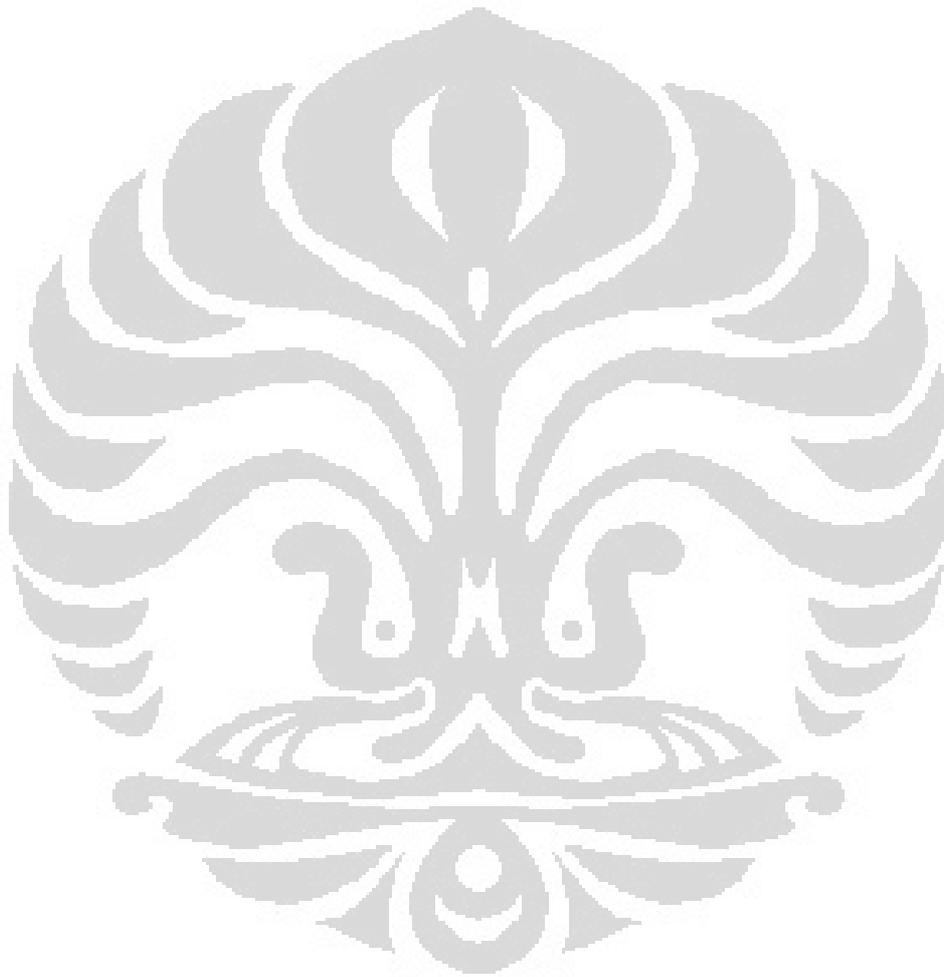
Modulus Penampang Plastis	-----
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 41.6667
Flange	LambdaW: 99.6048
-----	LambdaW: 150.997
-	-----
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 358136	-
Zy(mm ³): 72663.5	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---

Satuan dalam mm

Lp (mm) : 1314.44

Lr (mm) : 3853.08

-



LAMPIRAN
HASIL KELUARAN PROGRAM
FY = 400 Mpa

```

>> fungsiMn                                Iw(mm^6):  3.15328e+008
-----
Masukan Data                                Modulus Penampang Plastis
Fy dalam satuan Mpa                          dari Penampang Baja Wide
-----                                       Flange
Fy= 400
-----
Data - Data Penampang                        Satuan dalam mm^3
dari Penampang Baja Wide
Flange                                       Zx(mm^3):  44059.2
-----                                       Zy(mm^3):  9523.02
-
Satuan dalam mm                             Modulus Penampang Elastis
-----                                       dari Penampang Baja Wide
-                                       Flange
tw(mm):  5
tf(mm):  7
B(mm):  50
H(mm):  100
r(mm):  8
-----                                       Satuan dalam mm^3
-                                       Sx(mm^3):  37561.7
Properti Penampang                          Sy(mm^3):  6042.14
dari Penampang Baja Wide
Flange                                       Cek Penampang
-----                                       dari Penampang Baja Wide
-                                       Flange
A(mm^2):  1184.94                               Elemen Sayap Penampang WF
cx(mm):  25
cy(mm):  50
Ix(mm^4):  1.87808e+006                       LambdaF:  3.57143
Iy(mm^4):  151054                             LambdapF:  8.5
rx(mm):  39.8116                              LambdarF:  20.3678
ry(mm):  11.2906
J(mm^4):  15308.3                             Dari Perhitungan di atas

```

dapat disimpulkan bahwa	tf (mm) : 8
-----	B (mm) : 60
-	H (mm) : 125
Penampang Kompak	r (mm) : 8
Elemen Badan Penampang WF	
-----	Properti Penampang
---	dari Penampang Baja Wide
	Flange

	-
LambdaW: 20	A (mm ²) : 1668.94
LambdapW: 84.0762	cx (mm) : 30
LambdarW: 127.456	cy (mm) : 62.5
Dari Perhitungan di atas	Ix (mm ⁴) : 4.09396e+006
dapat disimpulkan bahwa	Iy (mm ⁴) : 294536
-----	rx (mm) : 49.5281
-	ry (mm) : 13.2846
Penampang Kompak	J (mm ⁴) : 28904
Momen Nominal	Iw (mm ⁶) : 9.85608e+008
Penampang Baja Profil Wide	
Flange	
-----	Modulus Penampang Plastis
---	dari Penampang Baja Wide
	Flange
Satuan dalam mm	-----
	-
Lp (mm) : 444.34	Satuan dalam mm ³
Lr (mm) : 1675.4	-----
	-
	Zx (mm ³) : 76877.5
	Zy (mm ³) : 15644
Data - Data Penampang	
dari Penampang Baja Wide	Modulus Penampang Elastis
Flange	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
	-
Satuan dalam mm	Satuan dalam mm ³
-----	-----
-	-
tw (mm) : 6	

Sx(mm³): 65503.4 Lp(mm): 522.813
 Sy(mm³): 9817.85 Lr(mm): 1886.15

Cek Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

Elemen Sayap Penampang WF

LambdaF: 3.75
 LambdapF: 8.5
 LambdarF: 20.3678

Dari Perhitungan di atas
 dapat disimpulkan bahwa

 -

Penampang Kompak
 Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 20.8333
 LambdapW: 84.0762
 LambdarW: 127.456

Dari Perhitungan di atas
 dapat disimpulkan bahwa

 -

Penampang Kompak

Momen Nominal

Penampang Baja Profil Wide

Flange

Satuan dalam mm

 -

Data - Data Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

 -

Satuan dalam mm

 -

tw(mm): 5
 tf(mm): 7
 B(mm): 75
 H(mm): 150
 r(mm): 8

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

 -

A(mm²): 1784.94
 cx(mm): 37.5
 cy(mm): 75
 Ix(mm⁴): 6.66443e+006
 Iy(mm⁴): 497929
 rx(mm): 61.104
 ry(mm): 16.7021
 J(mm⁴): 23108.3
 Iw(mm⁶): 2.51619e+009

Modulus Penampang Plastis

dari Penampang Baja Wide

Flange

 -

Satuan dalam mm³

-

Zx(mm³): 101833

Zy(mm³): 20773

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

Satuan dalam mm³

-

Sx(mm³): 88859.1

Sy(mm³): 13278.1

Momen Nominal

Penampang Baja Profil Wide
Flange

-

Satuan dalam mm

-

Lp(mm): 657.309

Lr(mm): 1913.9

Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

Elemen Sayap Penampang WF

-

LambdaF: 5.35714

LambdaF: 8.5

LambdaF: 20.3678

Data - Data Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

-

Satuan dalam mm

-

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 30

LambdaW: 84.0762

LambdaW: 127.456

tw(mm): 6

tf(mm): 9

B(mm): 100

H(mm): 148

r(mm): 8

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide
Flange

-

A(mm²): 2634.94

cx(mm): 50	LambdarF: 20.3678
cy(mm): 74	
Ix(mm ⁴): 1.00279e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 1.50691e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 61.6908	-----
ry(mm): 23.9144	-
J(mm ⁴): 58608	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 7.24538e+009	Elemen Badan Penampang WF

Modulus Penampang Plastis	---
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 24.6667
Flange	Lambda _p W: 84.0762
	LambdarW: 127.456

-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
	dapat disimpulkan bahwa
-----	-----
-	
Zx(mm ³): 153923	-
Zy(mm ³): 46433	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	
Sx(mm ³): 135513	Lp(mm): 941.145
Sy(mm ³): 30138.3	Lr(mm): 3044.5
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 5.55556	-
Lambda _p F: 8.5	Satuan dalam mm

-----	Satuan dalam mm ³
-	-----
tw(mm): 5	-
tf(mm): 8	Sx(mm ³): 137802
B(mm): 90	Sy(mm ³): 21732.9
H(mm): 175	
r(mm): 8	Cek Penampang
	dari Penampang Baja Wide
Properti Penampang	Flange
dari Penampang Baja Wide	Elemen Sayap Penampang WF
Flange	-----
-	LambdaF: 5.625
A(mm ²): 2289.94	LambdaF: 8.5
cx(mm): 45	LambdaF: 20.3678
cy(mm): 87.5	
Ix(mm ⁴): 1.20577e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy(mm ⁴): 977981	dapat disimpulkan bahwa
rx(mm): 72.5638	-----
ry(mm): 20.6658	-
J(mm ⁴): 37678.3	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 6.77703e+009	Elemen Badan Penampang WF

Modulus Penampang Plastis	
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 35
Flange	LambdaW: 84.0762
-----	LambdaW: 127.456
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 156111	-
Zy(mm ³): 33629.3	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---

Satuan dalam mm	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
Lp(mm): 813.3	-
Lr(mm): 2282.66	Satuan dalam mm ³

	-
Data - Data Penampang	Zx(mm ³): 175407
dari Penampang Baja Wide	Zy(mm ³): 35456.8
Flange	Modulus Penampang Elastis
-----	dari Penampang Baja Wide
-	Flange
Satuan dalam mm	-----
-----	-
-	Satuan dalam mm ³

tw(mm): 4.5	-
tf(mm): 7	Sx(mm ³): 155887
B(mm): 99	Sy(mm ³): 22982.3
H(mm): 198	
r(mm): 8	
Properti Penampang	Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide	dari Penampang Baja Wide
Flange	Flange
-----	Elemen Sayap Penampang WF
-	-----
A(mm ²): 2268.94	LambdaF: 7.07143
cx(mm): 49.5	LambdapF: 8.5
cy(mm): 99	LambdarF: 20.3678
Ix(mm ⁴): 1.54328e+007	
Iy(mm ⁴): 1.13762e+006	Dari Perhitungan di atas
rx(mm): 82.4729	dapat disimpulkan bahwa
ry(mm): 22.3917	-----
J(mm ⁴): 28439.6	-
Iw(mm ⁶): 1.03243e+010	Penampang Kompak
Modulus Penampang Plastis	Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 44	dari Penampang Baja Wide
LambdapW: 84.0762	Flange
LambdarW: 127.456	-----
	-
Dari Perhitungan di atas	A(mm ²): 2666.94
dapat disimpulkan bahwa	cx(mm): 50
-----	cy(mm): 100
-	Ix(mm ⁴): 1.80597e+007
Penampang Kompak	Iy(mm ⁴): 1.34033e+006
	rx(mm): 82.2904
Momen Nominal	ry(mm): 22.4181
Penampang Baja Profil Wide	J(mm ⁴): 44781.3
Flange	Iw(mm ⁶): 1.2288e+010

---	Modulus Penampang Plastis
Satuan dalam mm	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
Lp(mm): 881.222	-
Lr(mm): 2287.87	Satuan dalam mm ³

	-
Data - Data Penampang	Zx(mm ³): 205108
dari Penampang Baja Wide	Zy(mm ³): 41640.8
Flange	Modulus Penampang Elastis
-----	dari Penampang Baja Wide
-	Flange
Satuan dalam mm	-----
-----	-
-	Satuan dalam mm ³

tw(mm): 5.5	-
tf(mm): 8	
B(mm): 100	Sx(mm ³): 180597
H(mm): 200	Sy(mm ³): 26806.6
r(mm): 8	
Properti Penampang	Cek Penampang
	dari Penampang Baja Wide
	Flange

Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
---	-----
LambdaF: 6.25	-
LambdaF: 8.5	Satuan dalam mm
LambdaF: 20.3678	-----
	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 6
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 9
-----	B(mm): 150
-	H(mm): 194
Penampang Kompak	r(mm): 8
Elemen Badan Penampang WF	Properti Penampang
-----	dari Penampang Baja Wide
---	Flange
LambdaW: 36.3636	-----
LambdaW: 84.0762	-
LambdaW: 127.456	A(mm ²): 3810.94
Dari Perhitungan di atas	cx(mm): 75
dapat disimpulkan bahwa	cy(mm): 97
-----	Ix(mm ⁴): 2.62576e+007
-	Iy(mm ⁴): 5.07024e+006
Penampang Kompak	rx(mm): 83.0065
	ry(mm): 36.4753
Momen Nominal	J(mm ⁴): 86220
Penampang Baja Profil Wide	Iw(mm ⁶): 4.3316e+010
Flange	-----
-----	Modulus Penampang Plastis
---	dari Penampang Baja Wide
Satuan dalam mm	Flange
-----	-----
-	-
Lp(mm): 882.261	Satuan dalam mm ³
Lr(mm): 2406.11	-----
	-
	Zx(mm ³): 300950
	Zy(mm ³): 103097
Data - Data Penampang	

Modulus Penampang Elastis
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

Satuan dalam mm³

-

Sx(mm³): 270697

Sy(mm³): 67603.2

Momen Nominal

Penampang Baja Profil Wide
Flange

Satuan dalam mm

-

Lp(mm): 1435.48

Lr(mm): 3943.09

Cek Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

Elemen Sayap Penampang WF

LambdaF: 8.33333

Lambda_pF: 8.5

Lambda_rF: 20.3678

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Elemen Badan Penampang WF

LambdaW: 32.3333

Lambda_pW: 84.0762

Lambda_rW: 127.456

Dari Perhitungan di atas
dapat disimpulkan bahwa

-

Penampang Kompak

Data - Data Penampang
dari Penampang Baja Wide
Flange

-

Satuan dalam mm

-

tw(mm): 5

tf(mm): 8

B(mm): 124

H(mm): 248

r(mm): 8

Properti Penampang

dari Penampang Baja Wide

Flange

-

A(mm²): 3198.94

cx(mm): 62

cy(mm): 124

Ix(mm⁴): 3.45031e+007

Iy(mm⁴): 2.54891e+006

rx(mm): 103.855

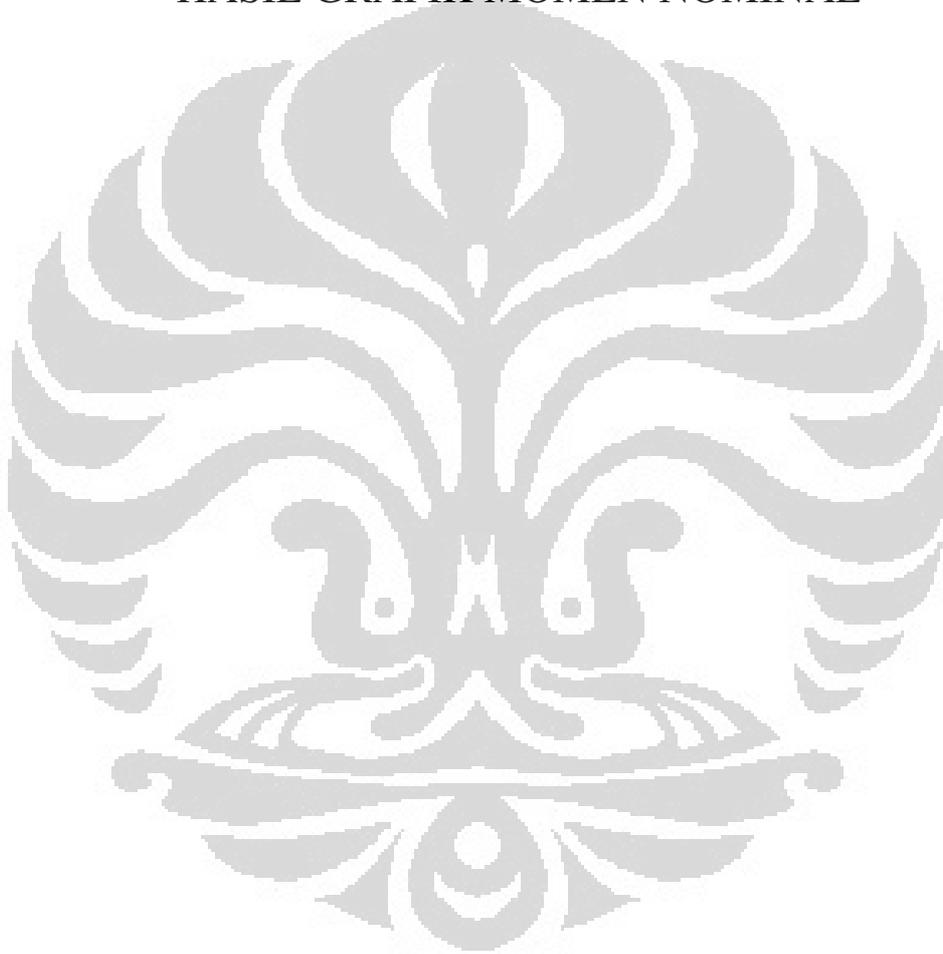
ry(mm): 28.2276

J(mm ⁴): 52325.3	Penampang Kompak
Iw(mm ⁶): 3.66072e+010	Elemen Badan Penampang WF

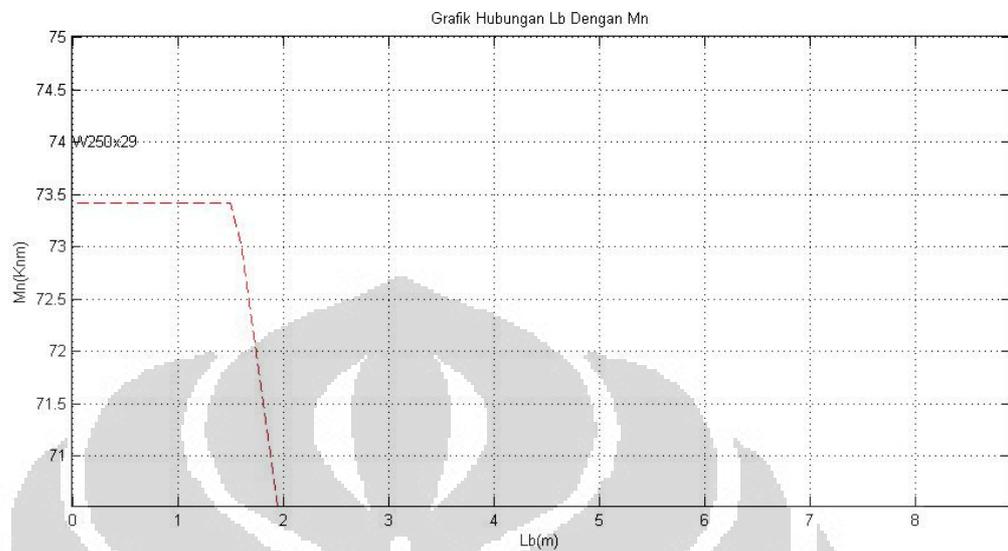
Modulus Penampang Elastis	---
dari Penampang Baja Wide	LambdaW: 49.6
Flange	LambdapW: 84.0762
-----	LambdarW: 127.456
-	
Satuan dalam mm ³	Dari Perhitungan di atas
-----	dapat disimpulkan bahwa
-	-----
Zx(mm ³): 311635	-
Zy(mm ³): 63189.5	Penampang Kompak
Modulus Penampang Elastis	Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide	Penampang Baja Profil Wide
Flange	Flange
-----	-----
-	---
Satuan dalam mm ³	Satuan dalam mm
-----	-----
-	-
Sx(mm ³): 278251	Lp(mm): 1110.89
Sy(mm ³): 41111.4	Lr(mm): 2816.61
Cek Penampang	
dari Penampang Baja Wide	
Flange	Data - Data Penampang
Elemen Sayap Penampang WF	dari Penampang Baja Wide
-----	Flange
-	-----
LambdaF: 7.75	-
LambdapF: 8.5	Satuan dalam mm
LambdarF: 20.3678	-----
-	-
Dari Perhitungan di atas	tw(mm): 6
dapat disimpulkan bahwa	tf(mm): 9
-----	B(mm): 125
-	H(mm): 250

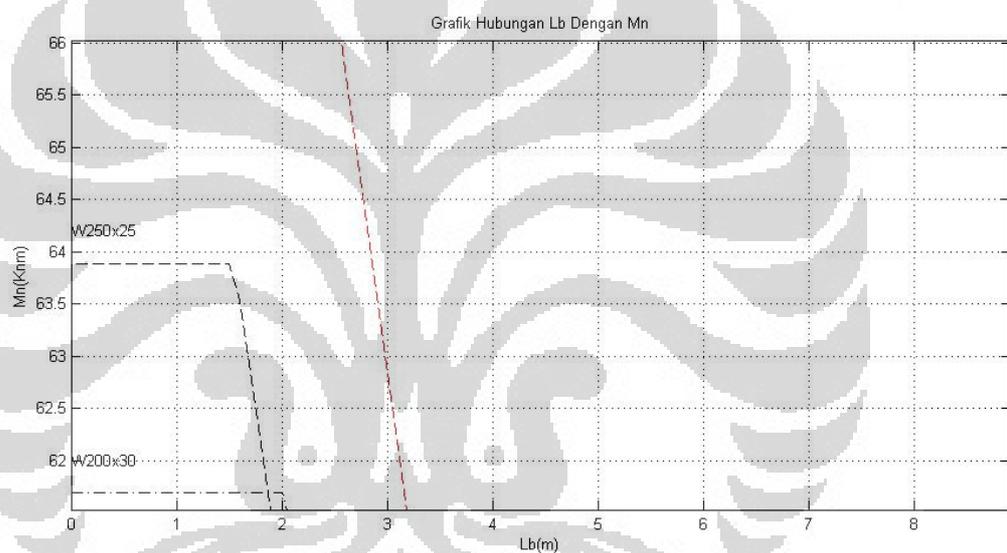
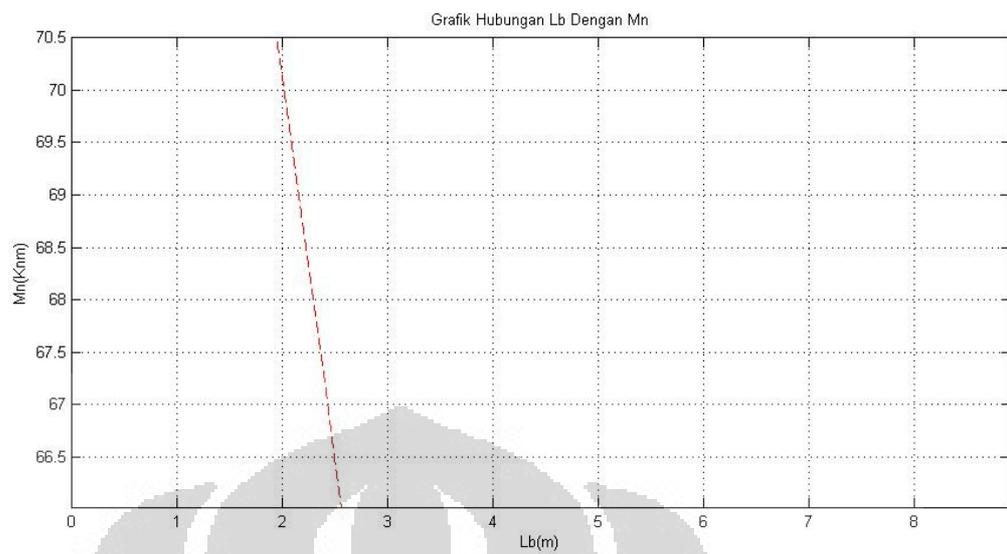
r (mm):	8	Cek Penampang
Properti Penampang		dari Penampang Baja Wide
dari Penampang Baja Wide		Flange
Flange		Elemen Sayap Penampang WF
-----		-----
-		---
A (mm ²):	3696.94	LambdaF: 6.94444
cx (mm):	62.5	LambdaF: 8.5
cy (mm):	125	LambdaF: 20.3678
Ix (mm ⁴):	3.96493e+007	Dari Perhitungan di atas
Iy (mm ⁴):	2.93844e+006	dapat disimpulkan bahwa
rx (mm):	103.561	-----
ry (mm):	28.1927	-
J (mm ⁴):	78102	Penampang Kompak
Iw (mm ⁶):	4.25398e+010	Elemen Badan Penampang WF
-----		-----
Modulus Penampang Plastis		
dari Penampang Baja Wide		LambdaW: 41.6667
Flange		LambdaW: 84.0762
-----		LambdaW: 127.456
-		---
Satuan dalam mm ³		Dari Perhitungan di atas
-----		dapat disimpulkan bahwa
-		-----
Zx (mm ³):	358136	-
Zy (mm ³):	72663.5	Penampang Kompak
-----		-----
Modulus Penampang Elastis		Momen Nominal
dari Penampang Baja Wide		Penampang Baja Profil Wide
Flange		Flange
-----		-----
-		---
Satuan dalam mm ³		Satuan dalam mm
-----		-----
-		-
Sx (mm ³):	317194	Lp (mm): 1109.52
Sy (mm ³):	47015	Lr (mm): 2919.44

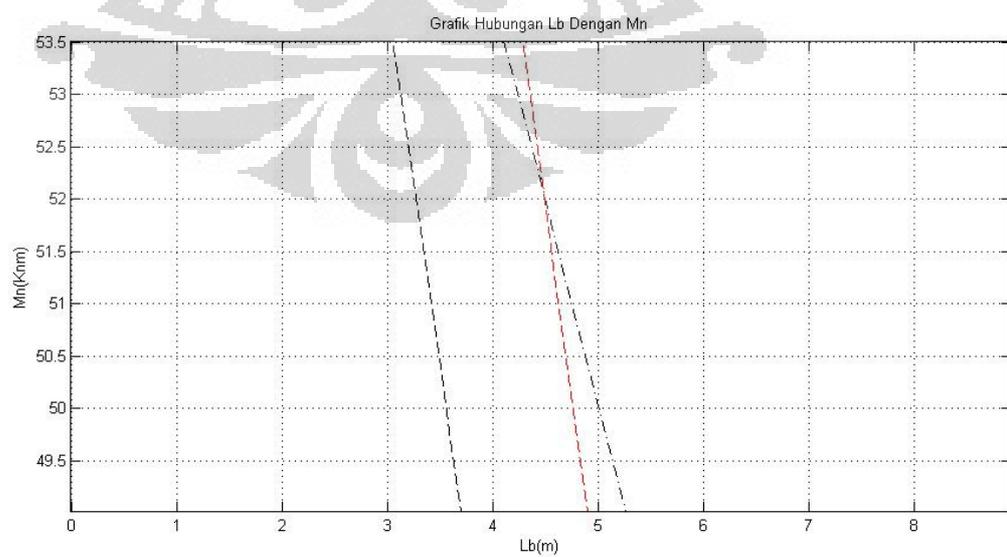
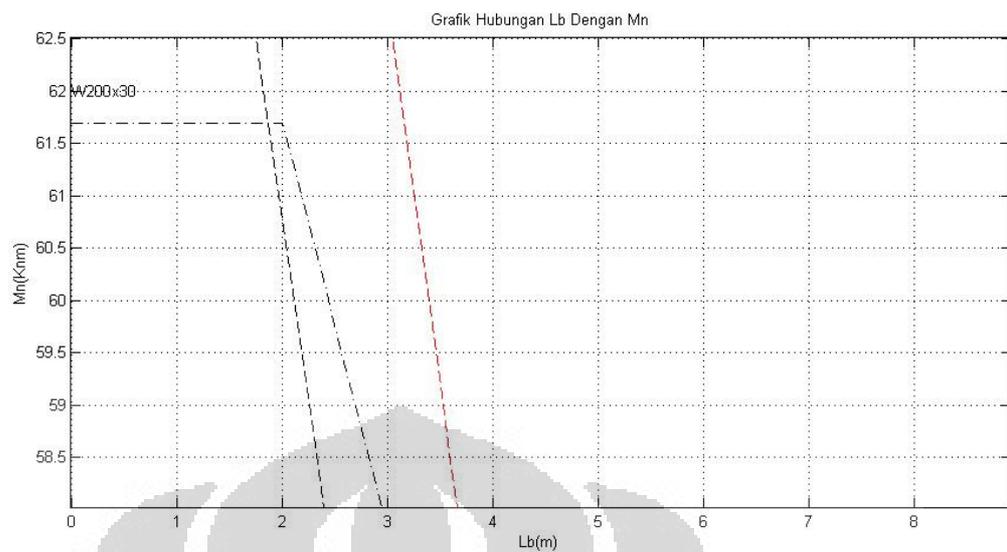
LAMPIRAN 2
HASIL GRAFIK MOMEN NOMINAL

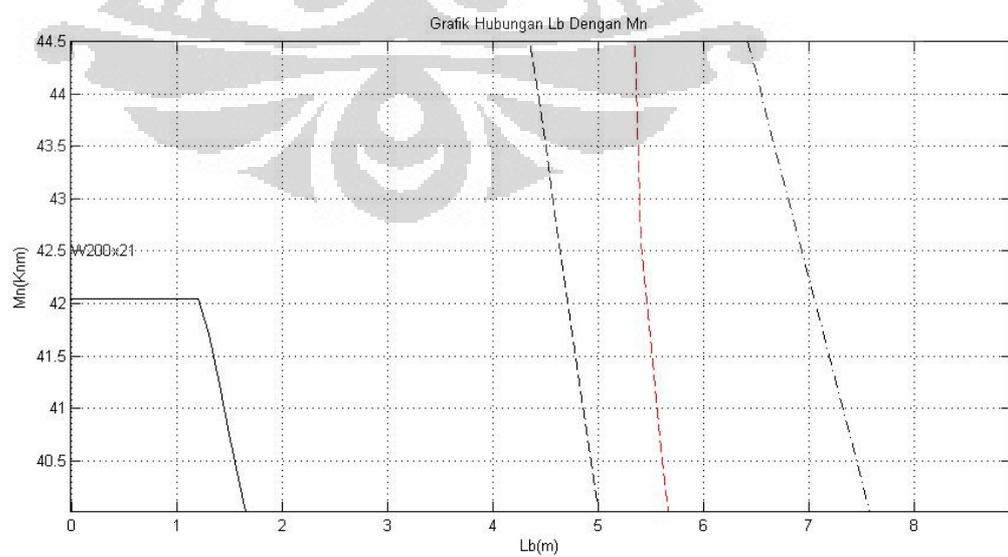
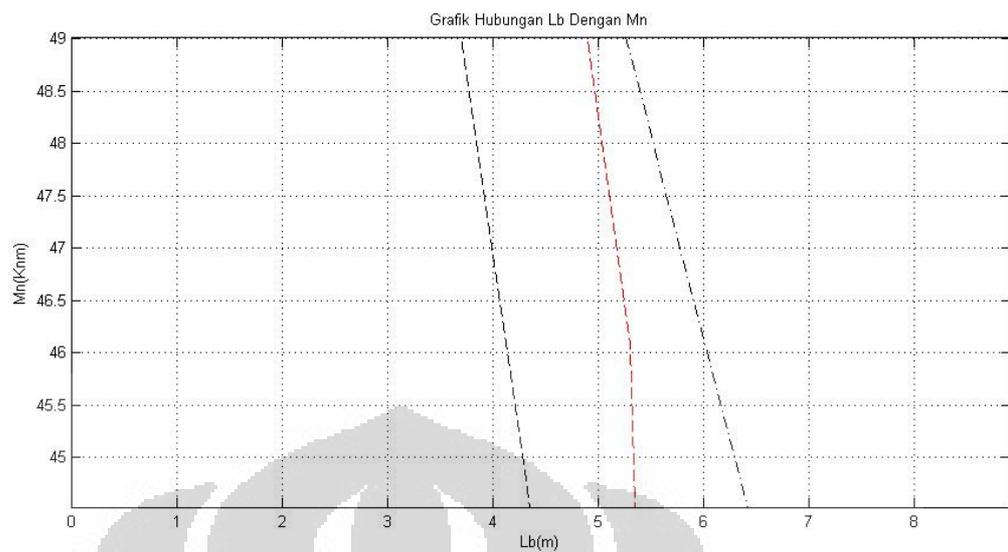


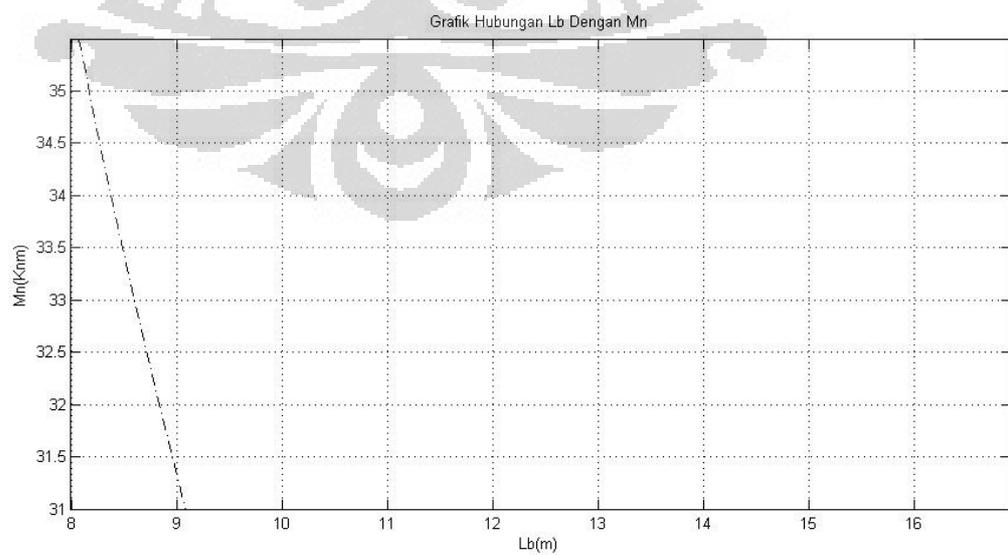
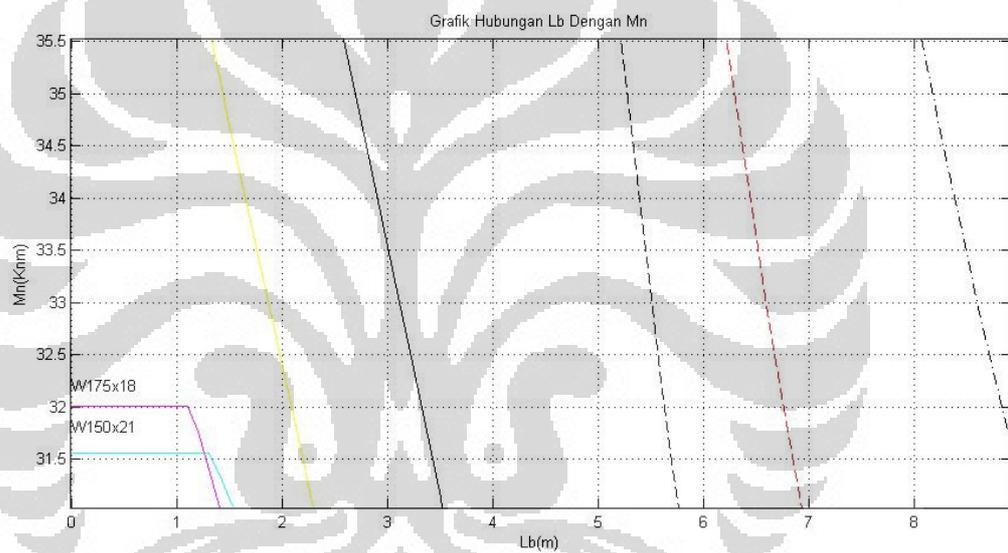
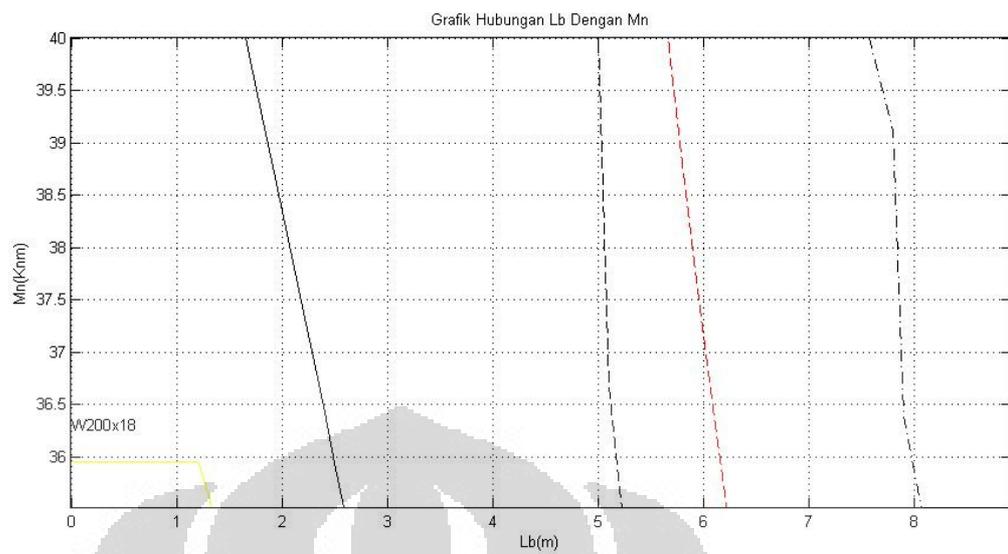
LAMPIRAN
GRAFIK MOMEN NOMINAL
FY = 205 Mpa

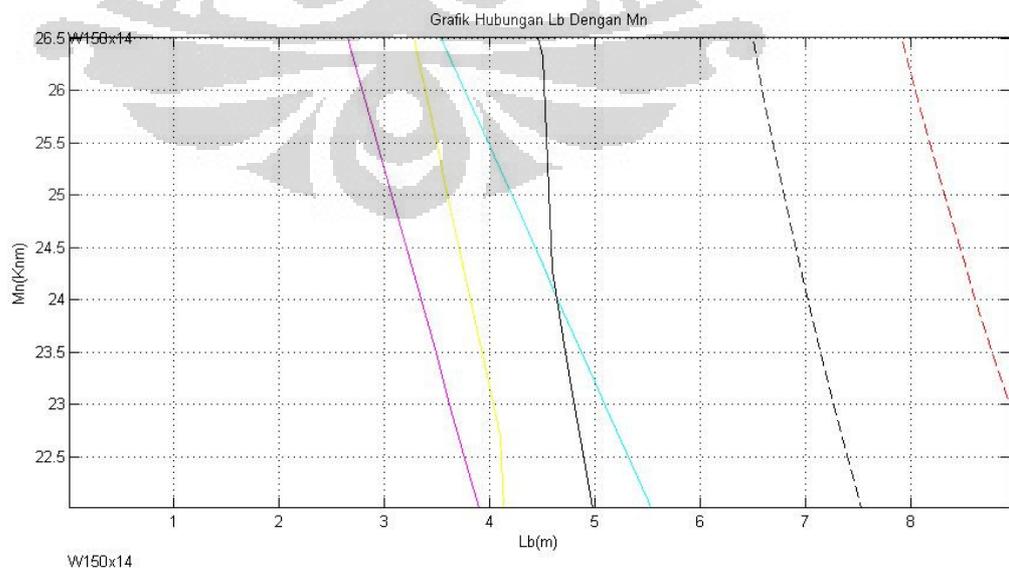
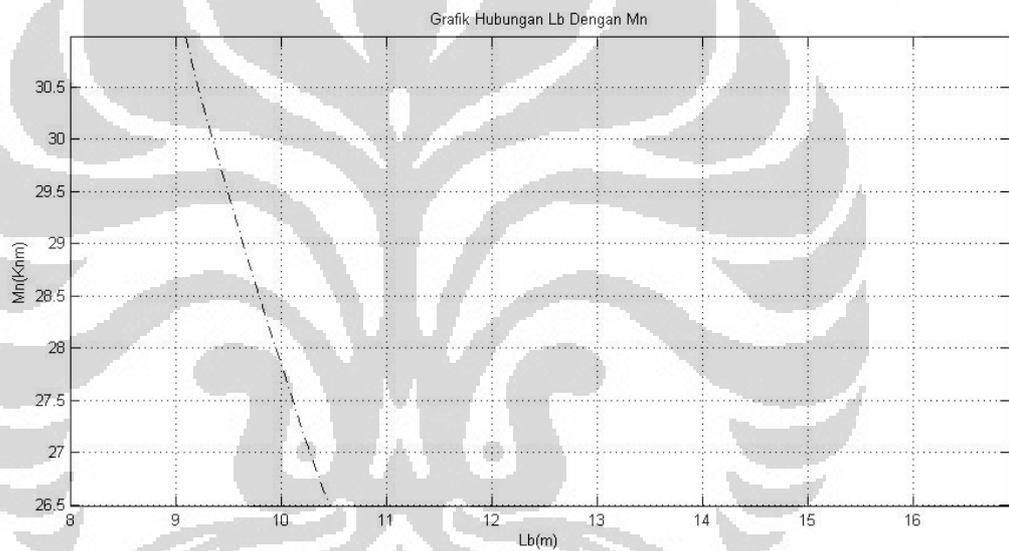
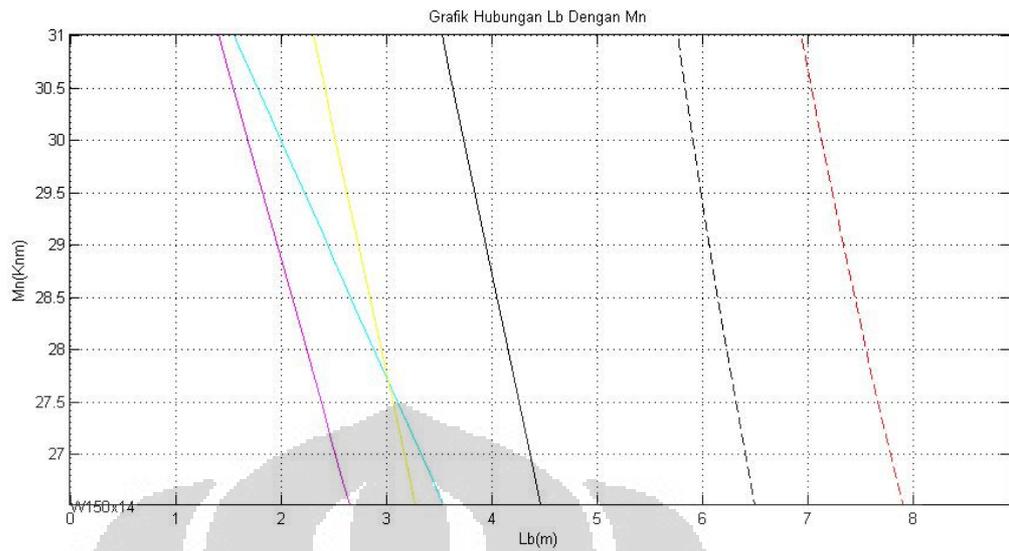


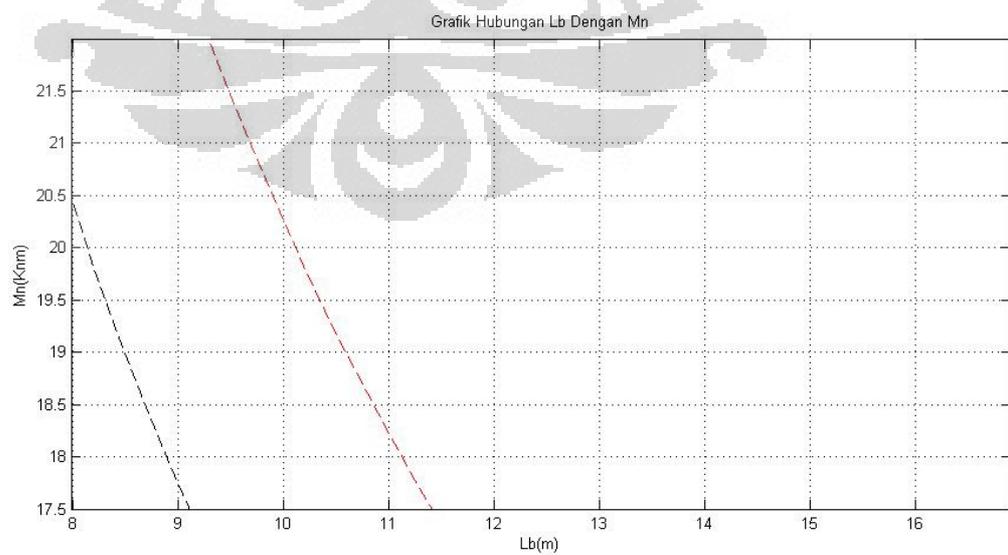
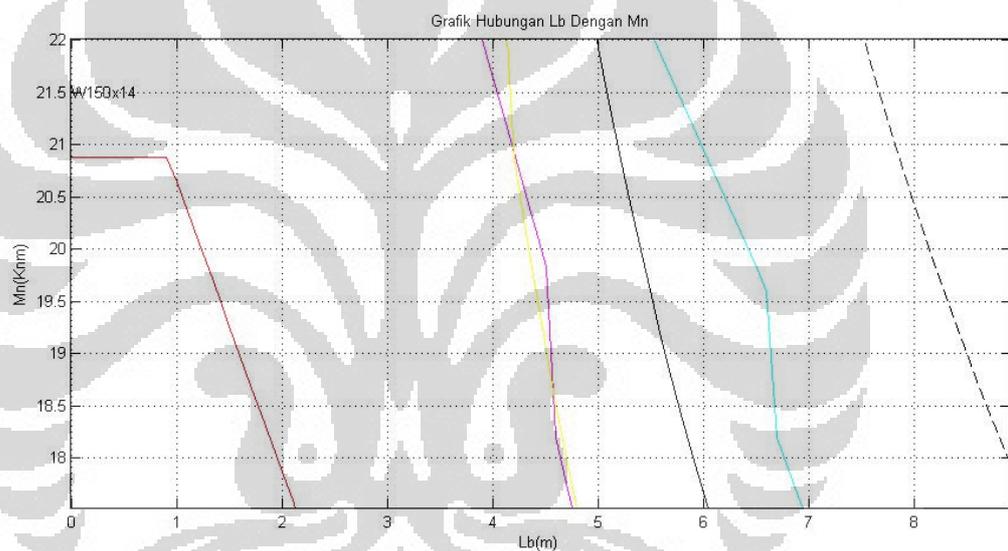
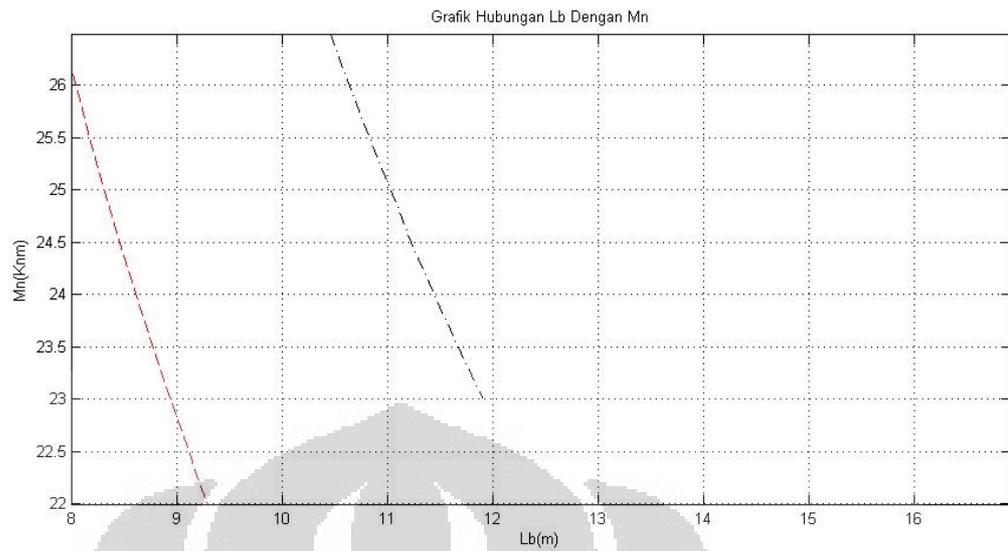


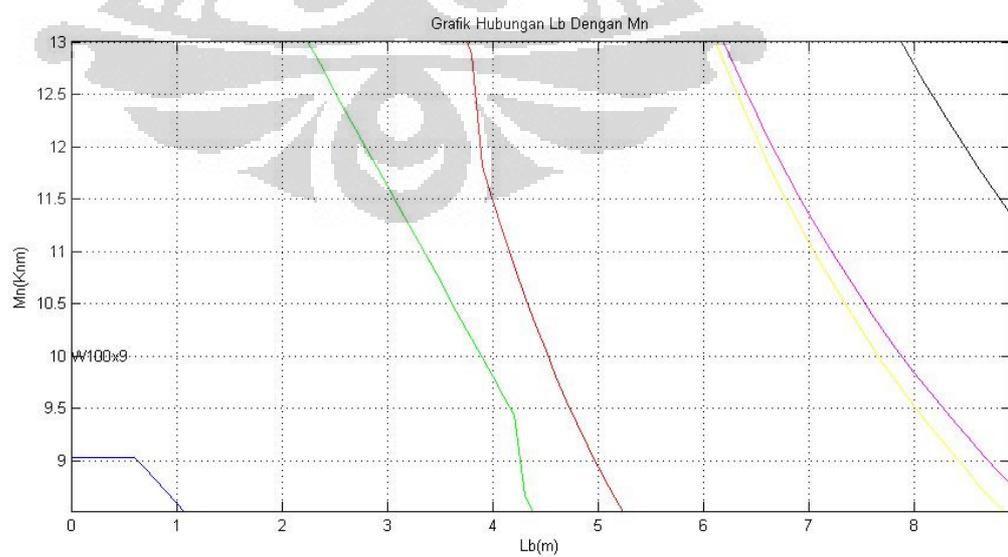
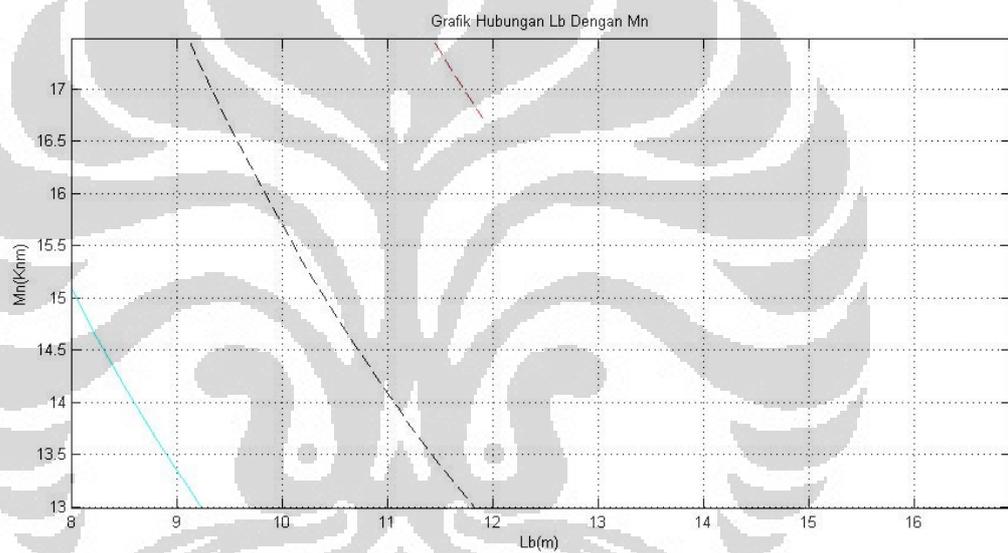
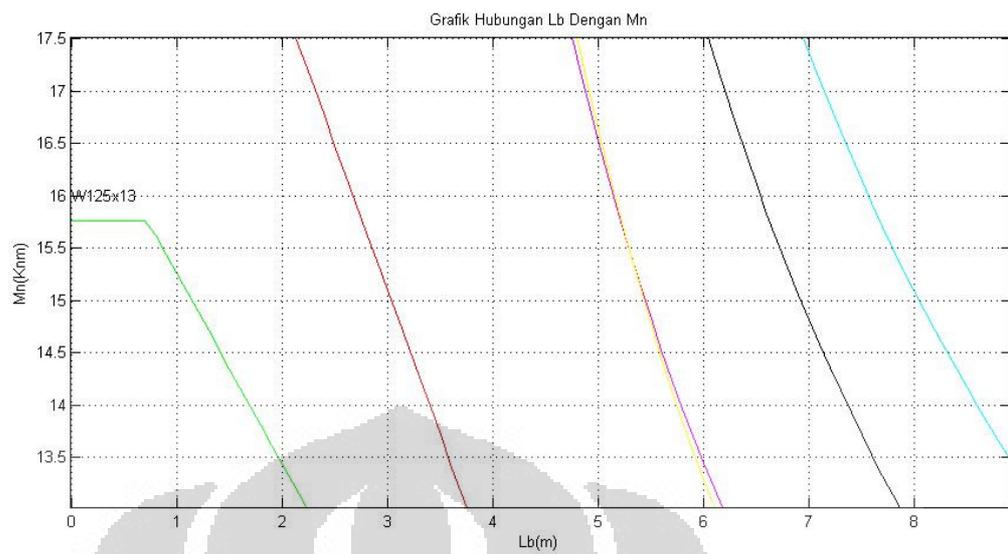


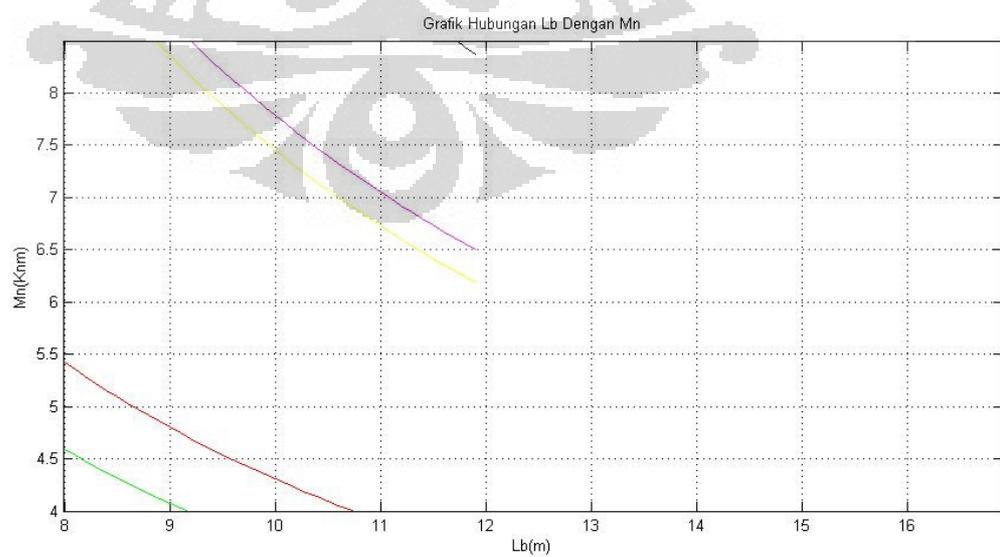
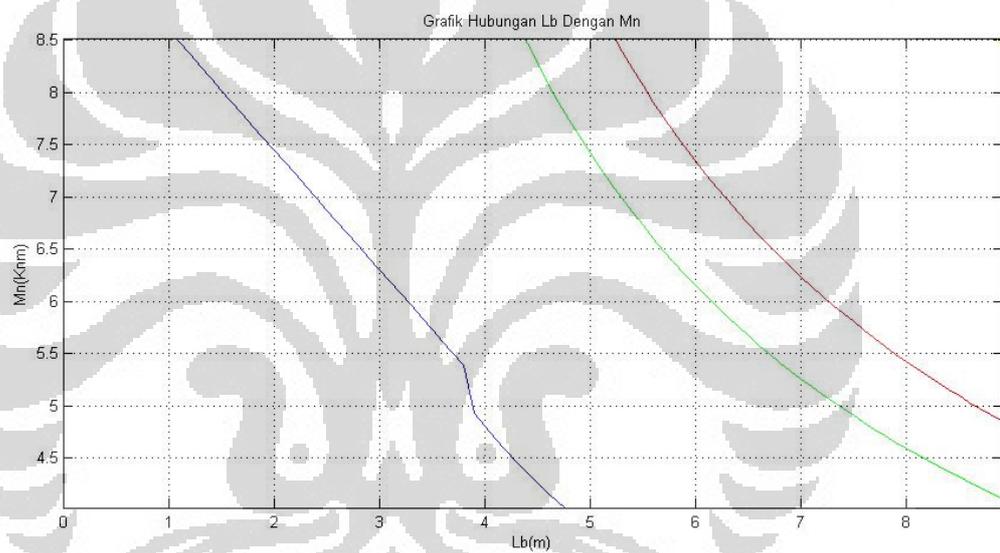
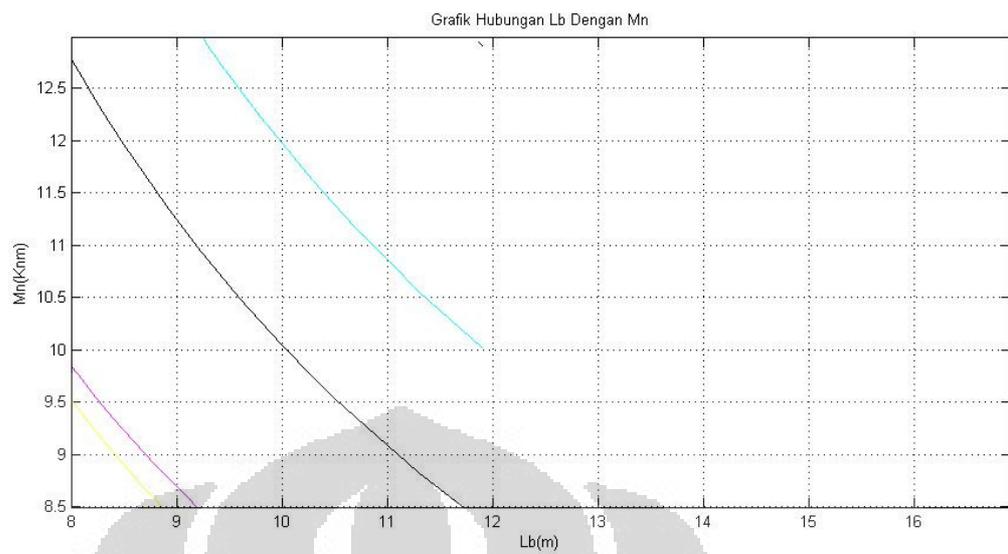


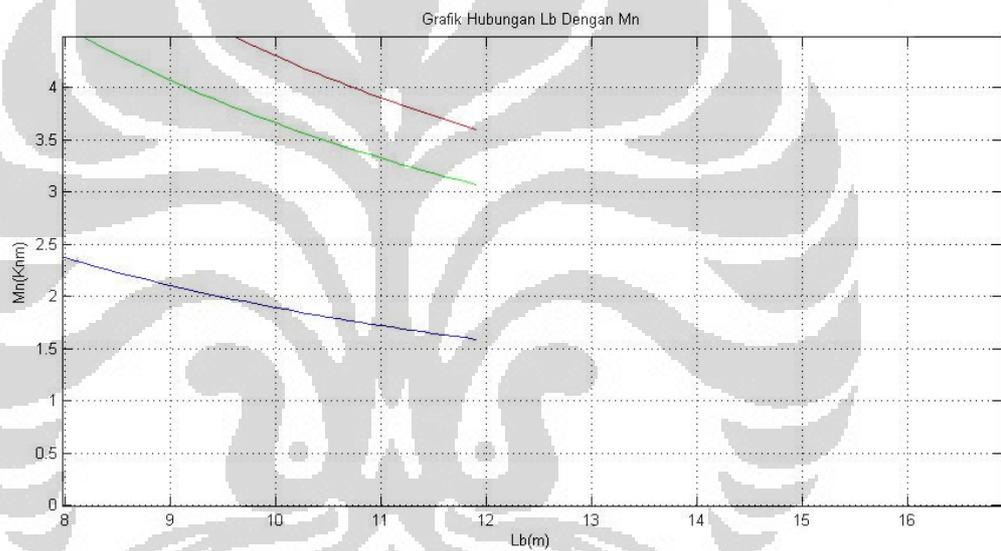
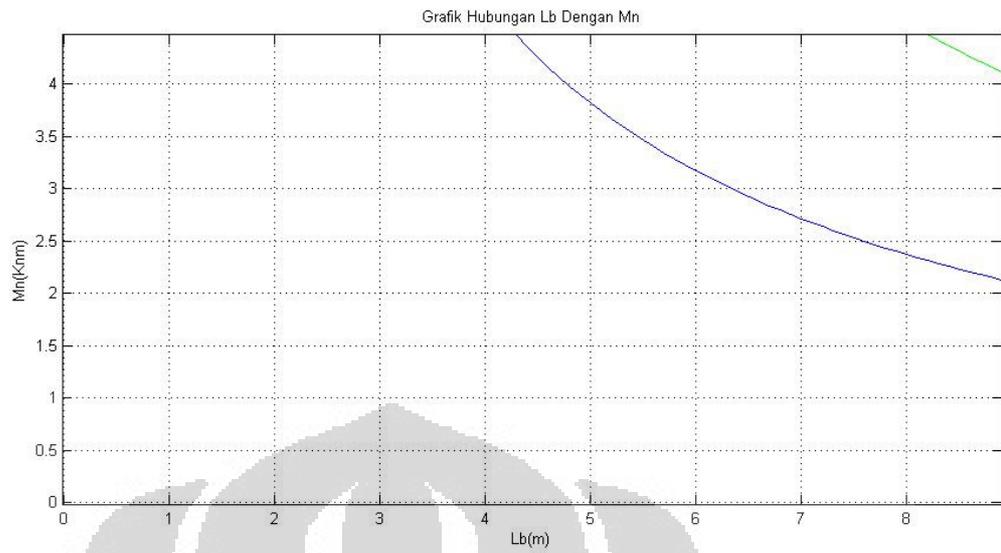




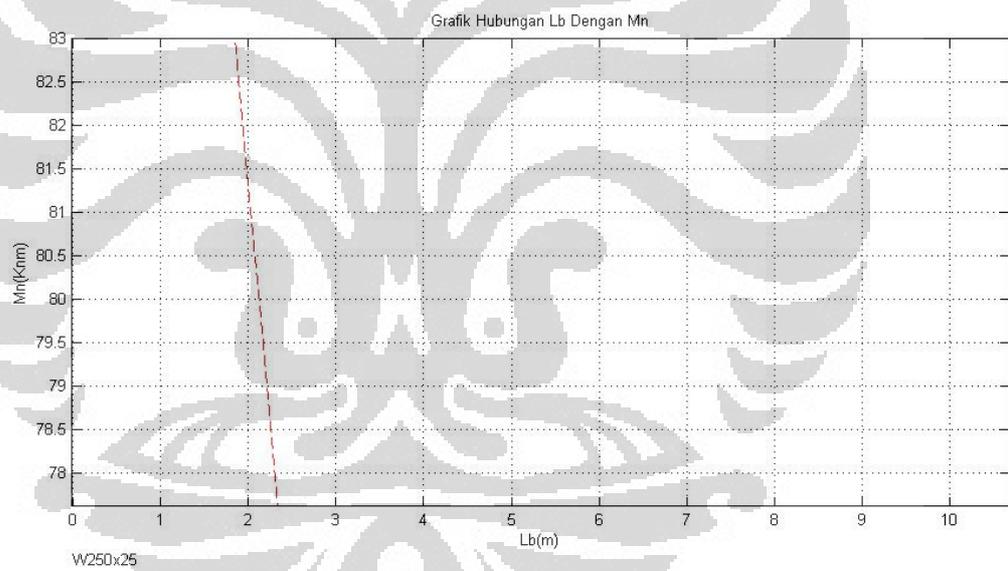
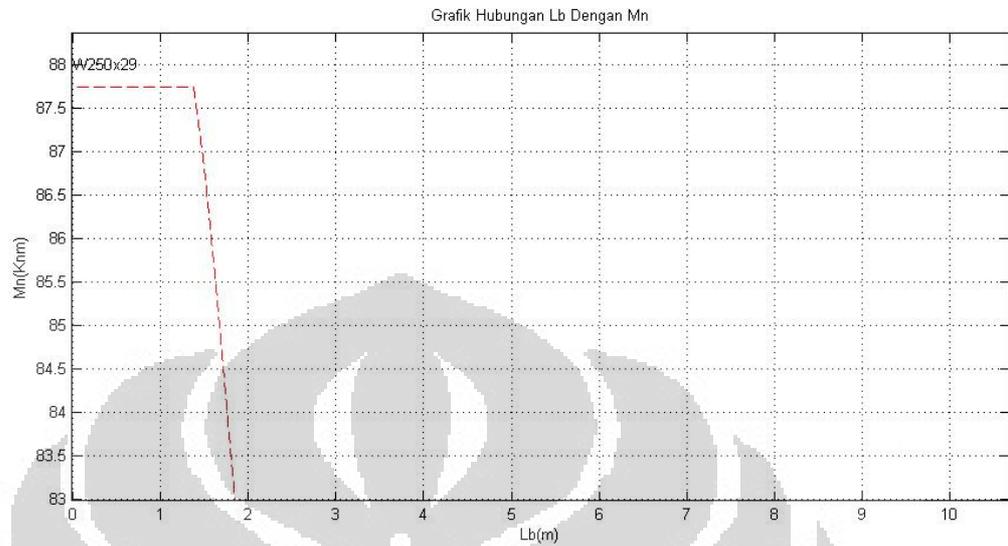


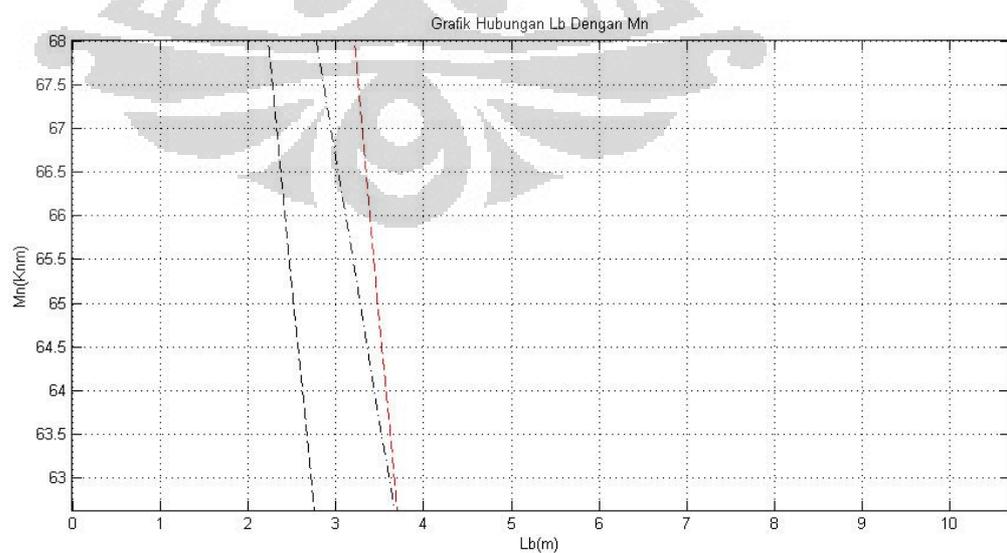
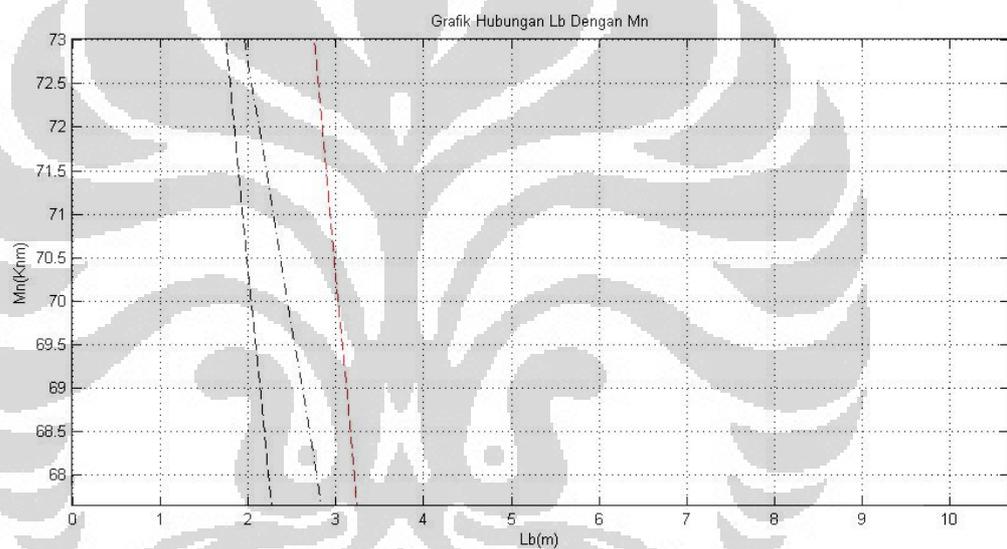
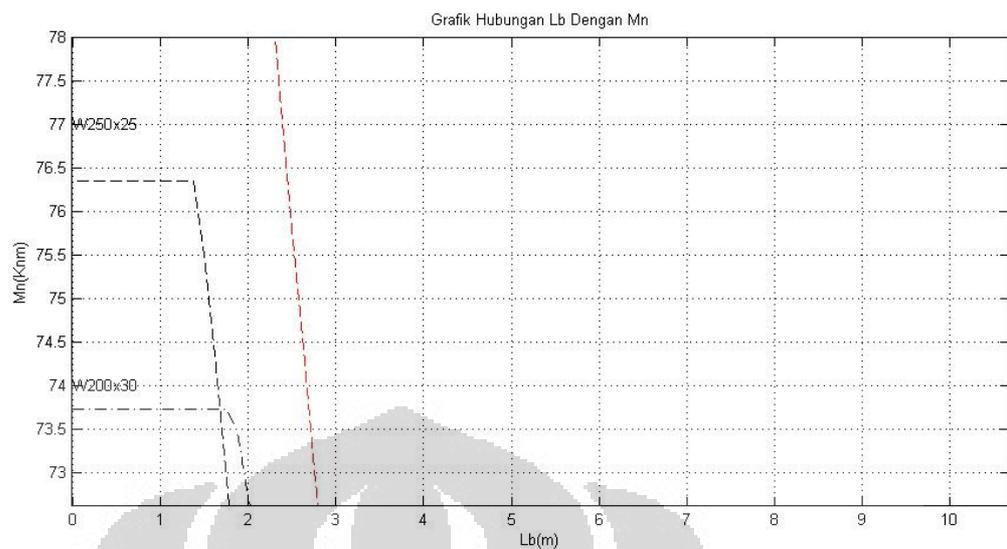


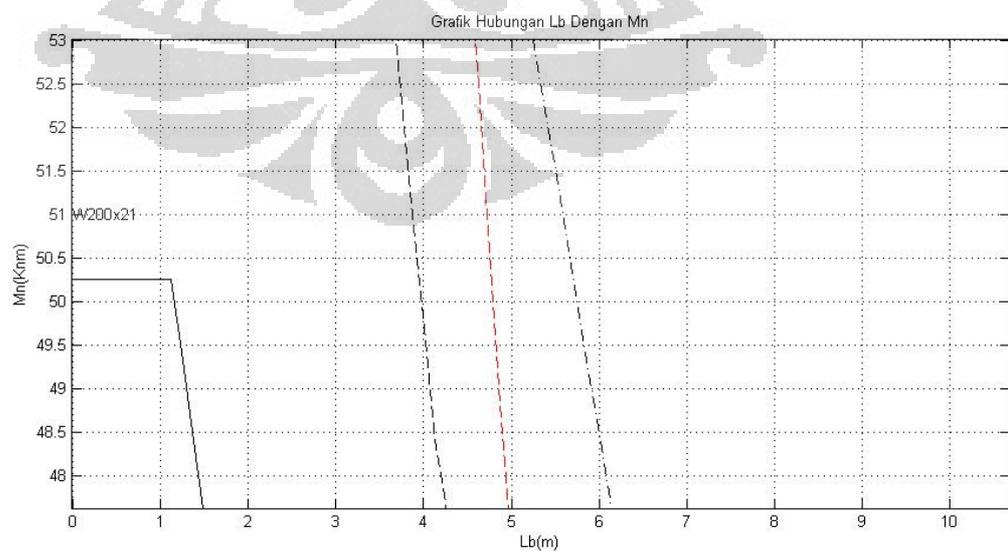
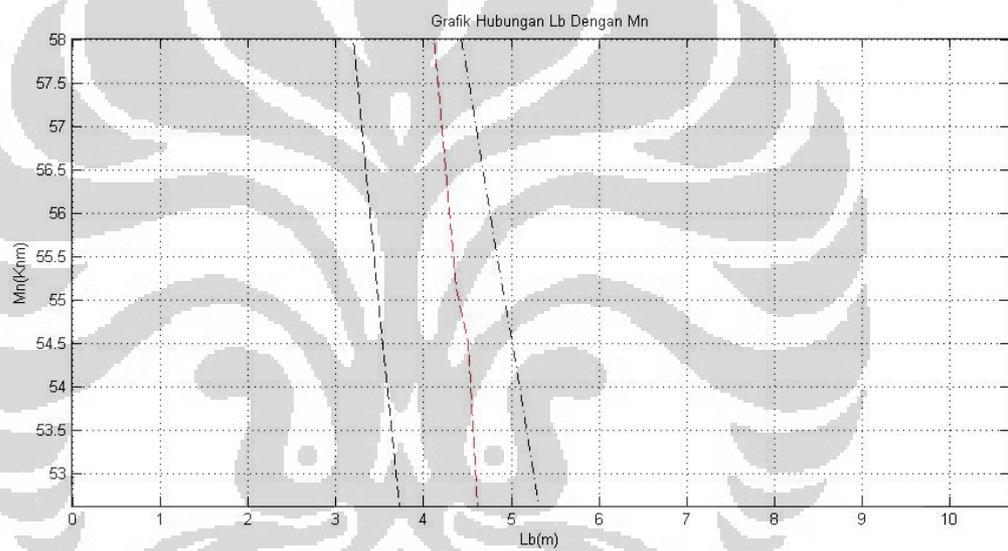
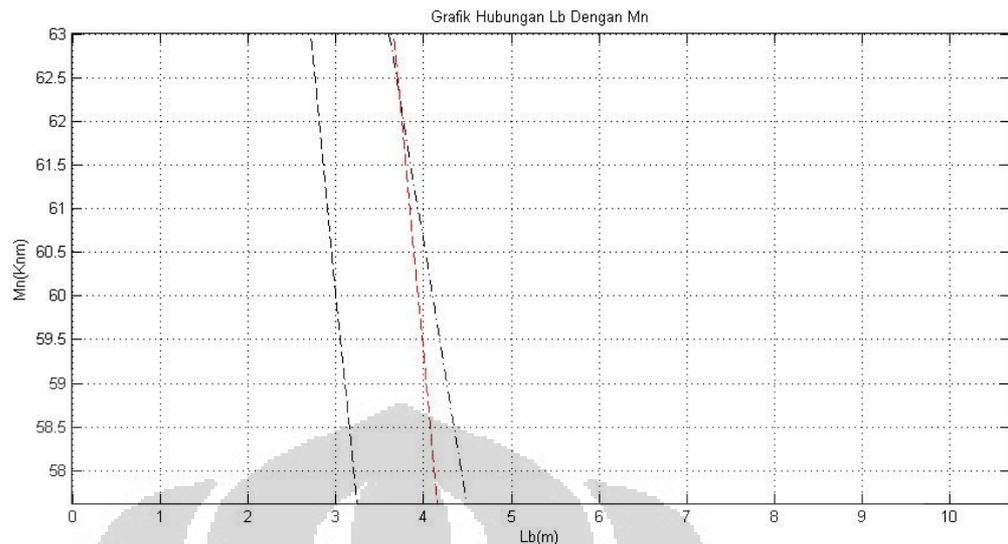


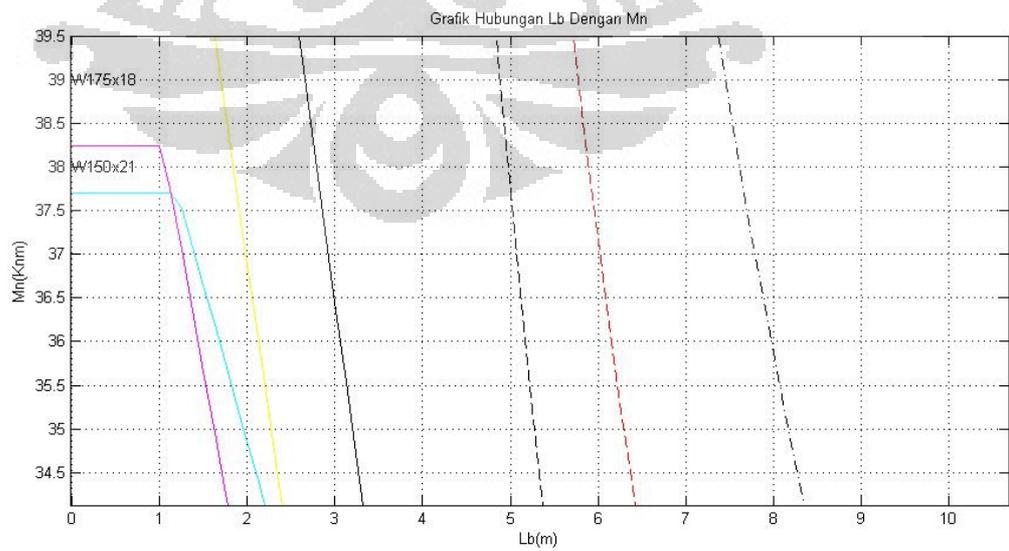
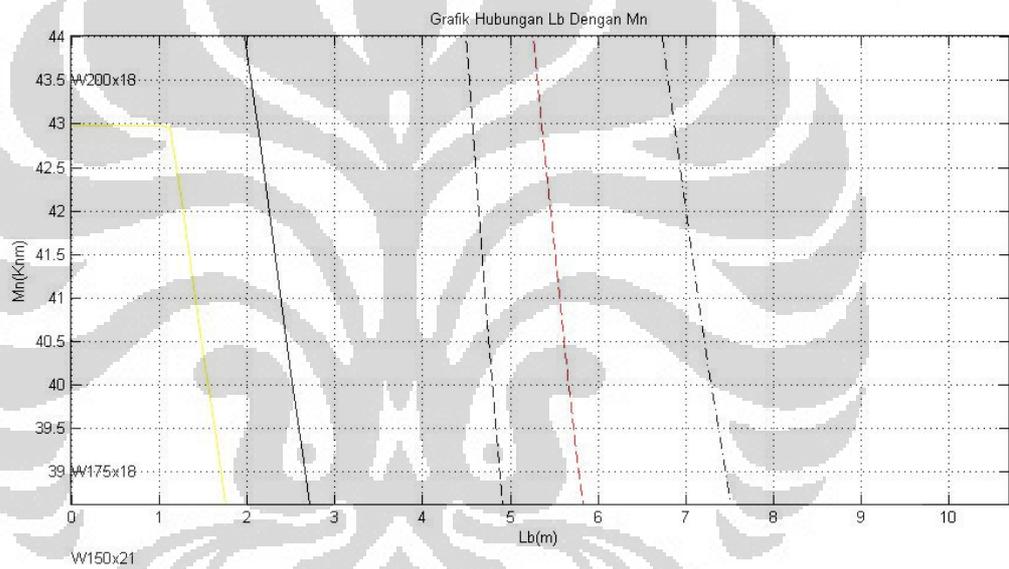
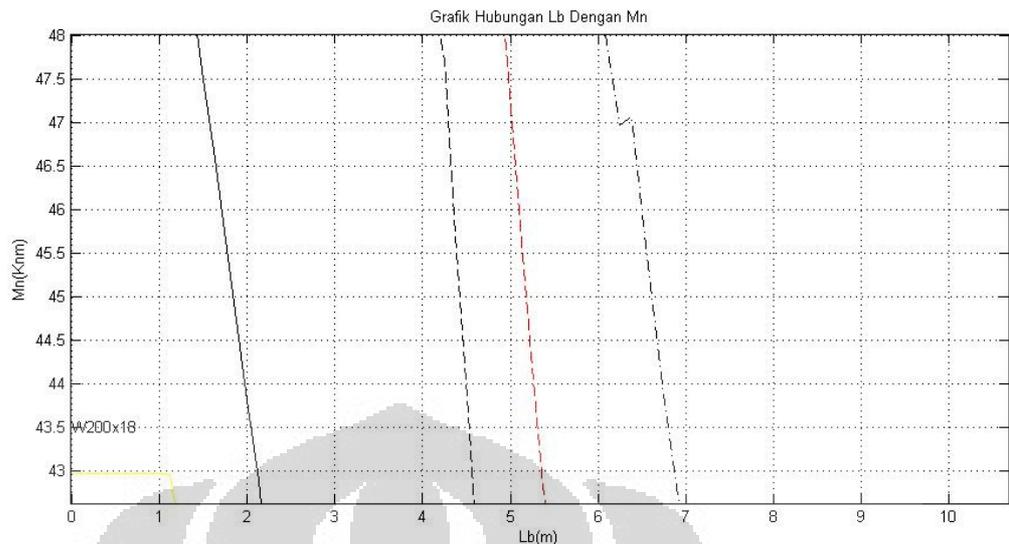


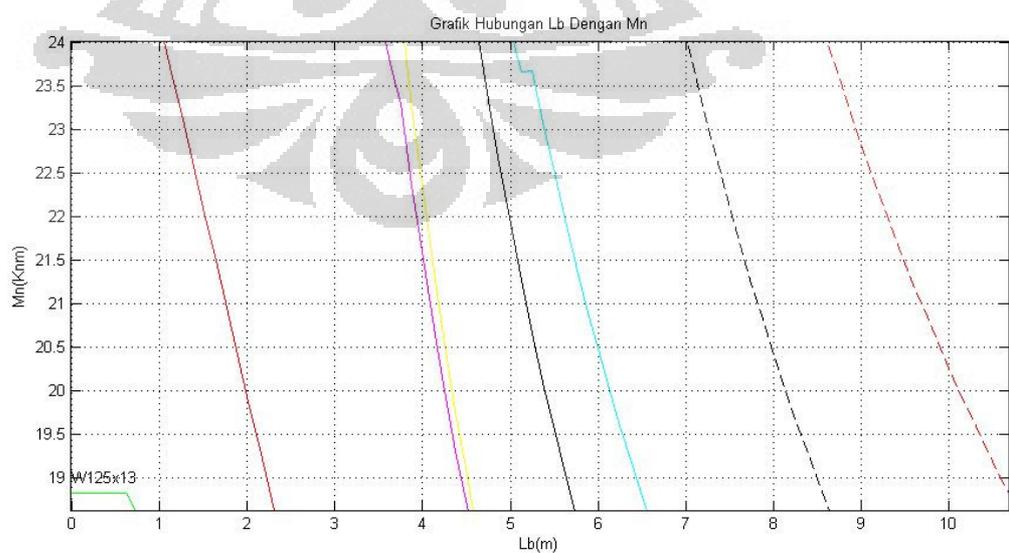
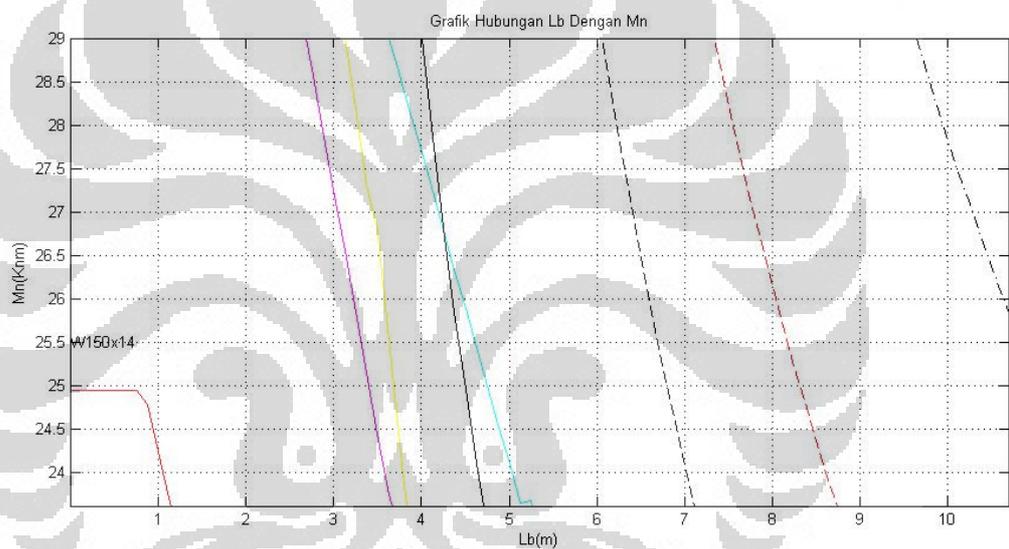
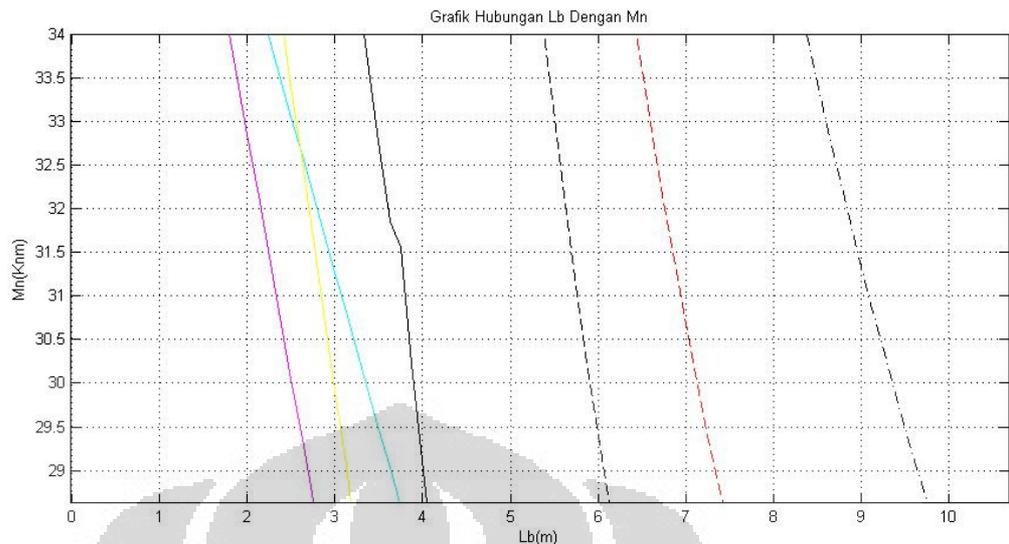
LAMPIRAN
GRAFIK MOMEN NOMINAL
FY = 245 Mpa

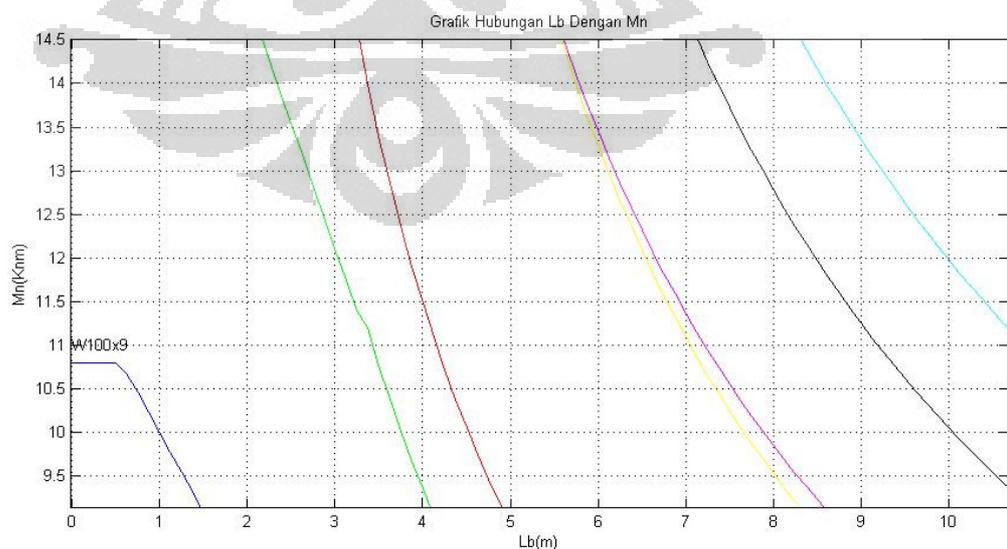
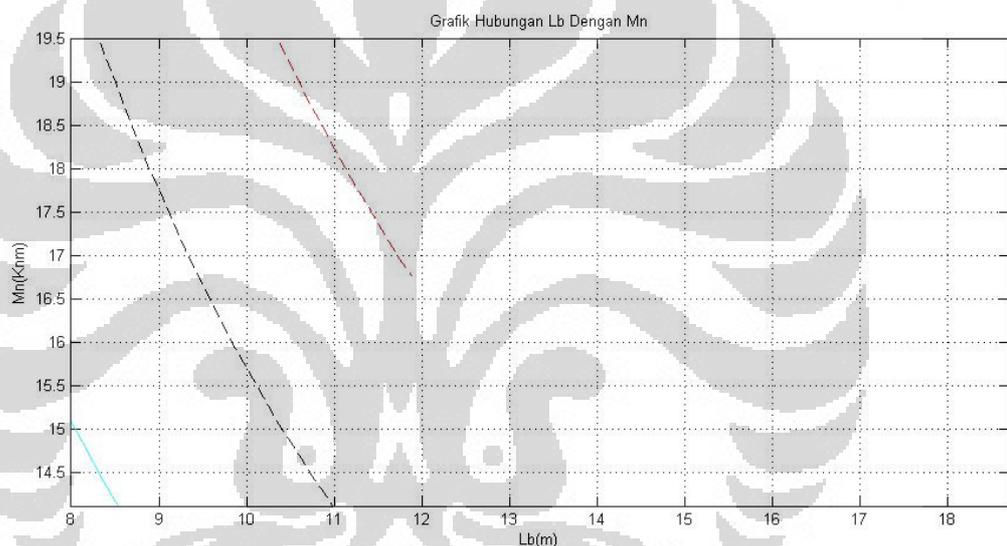
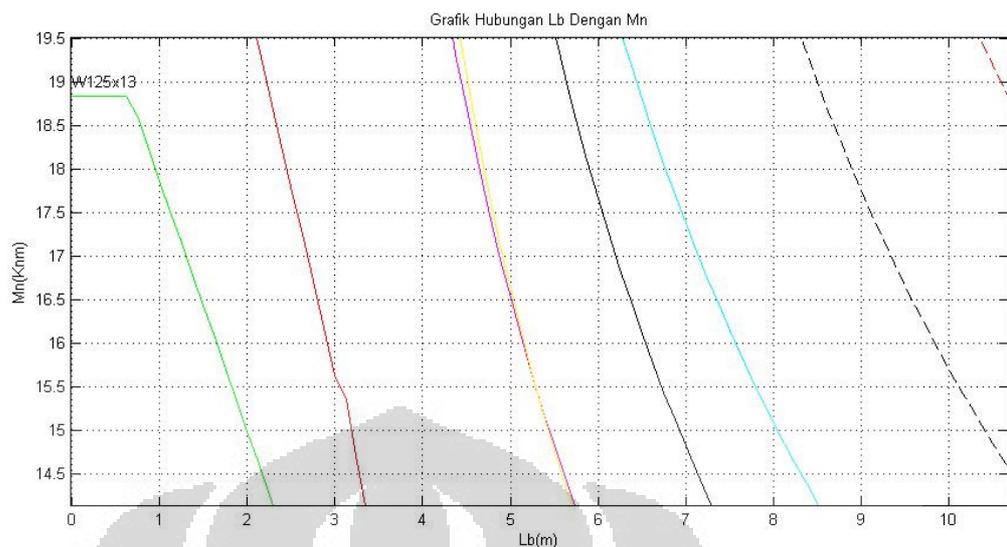


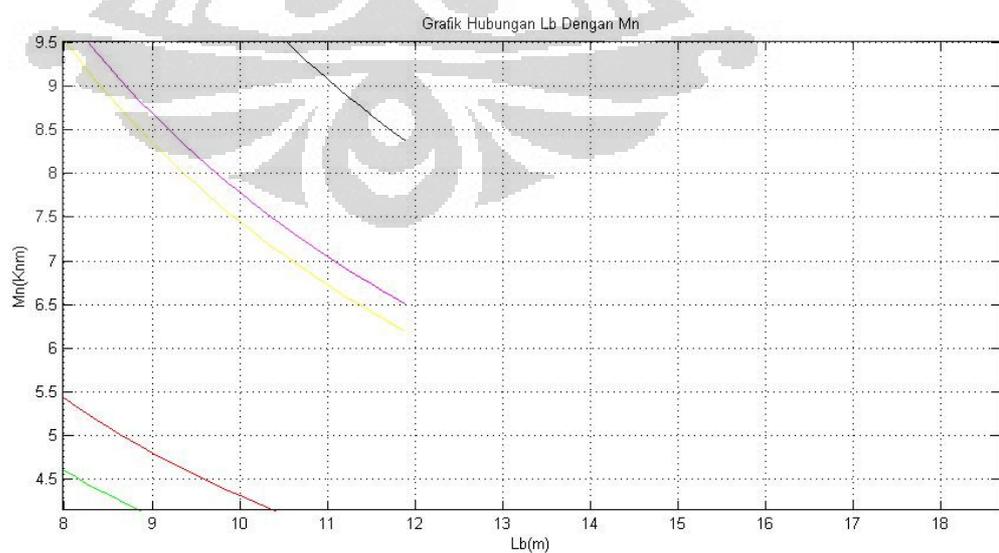
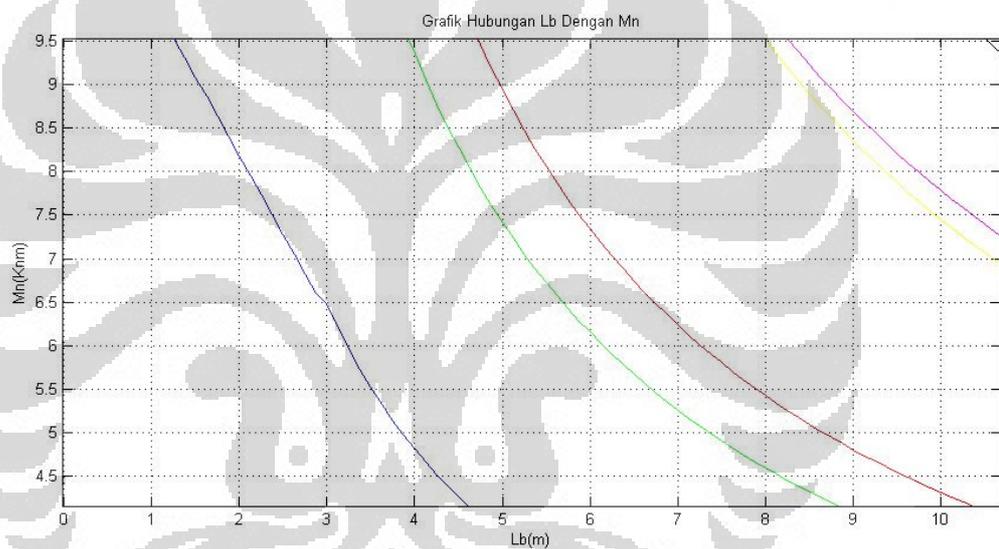
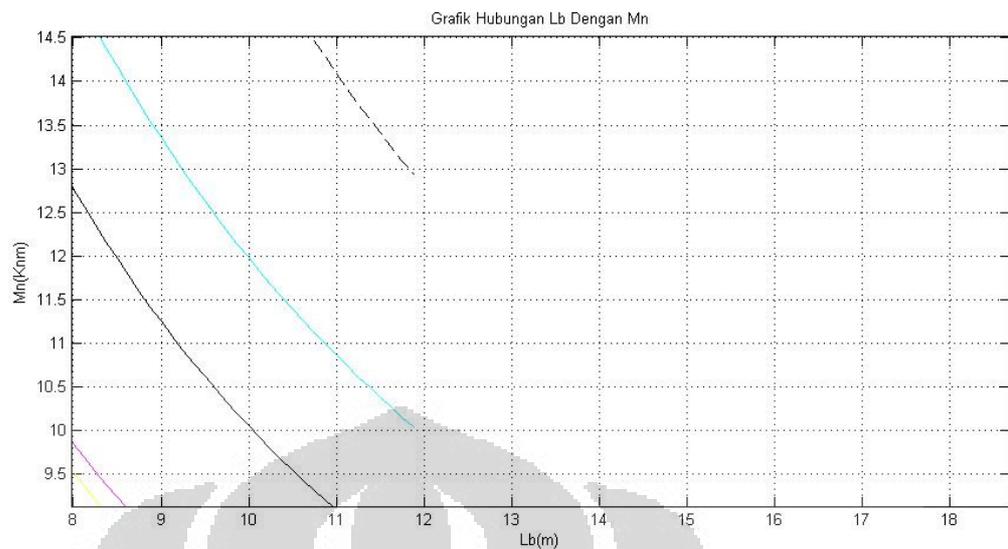


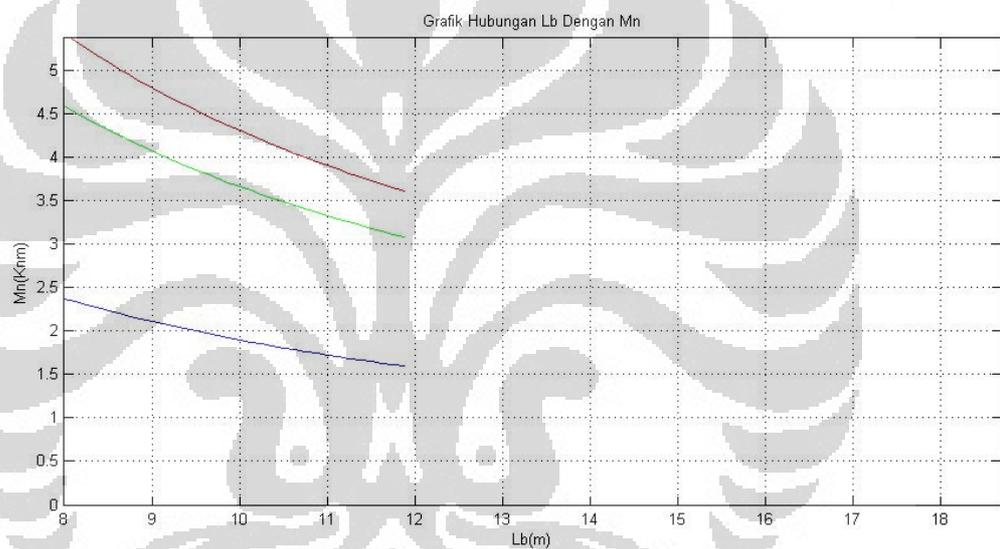
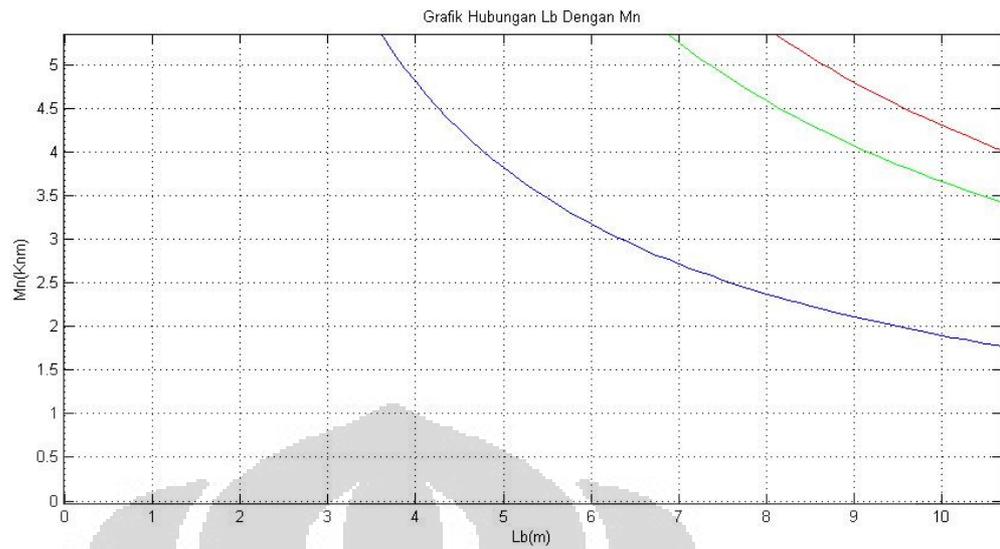




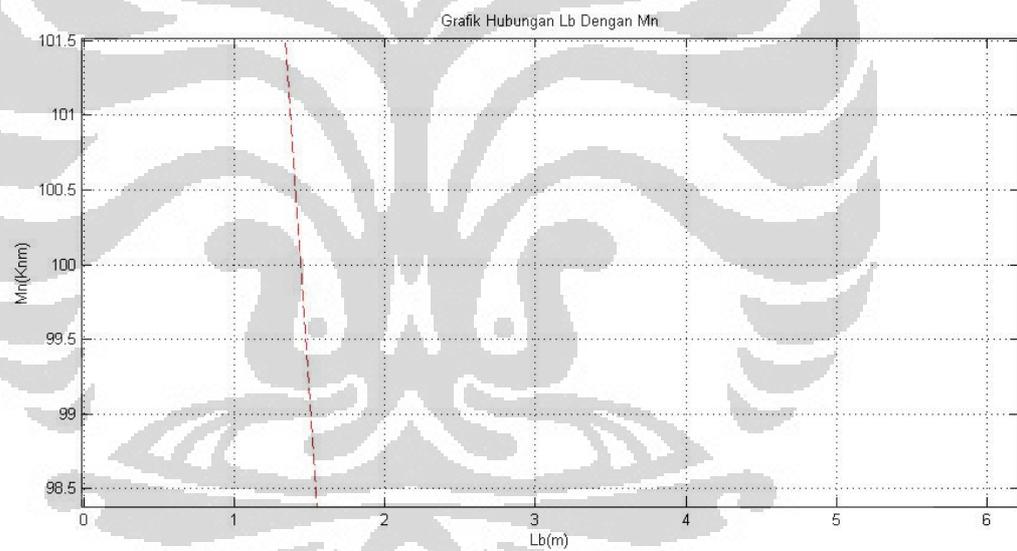
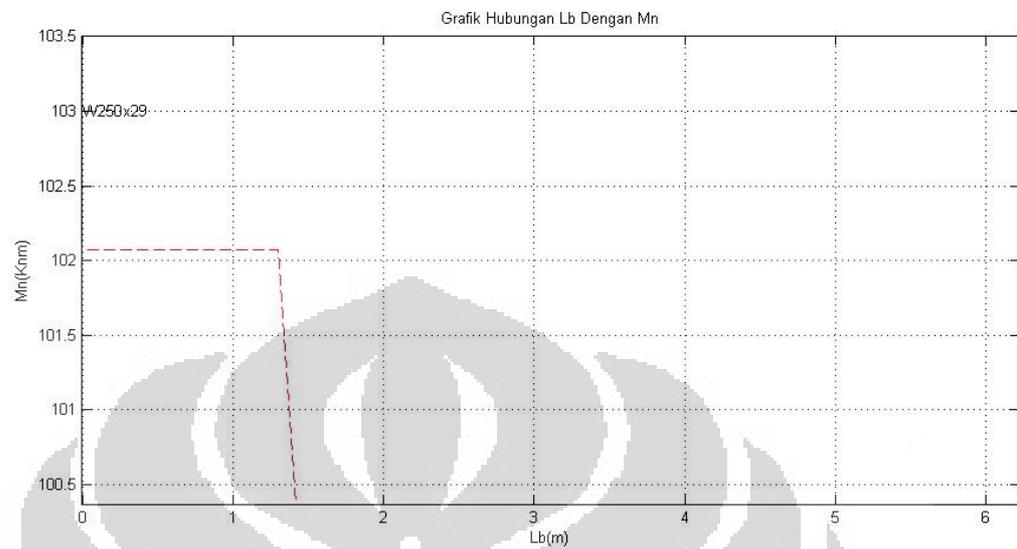


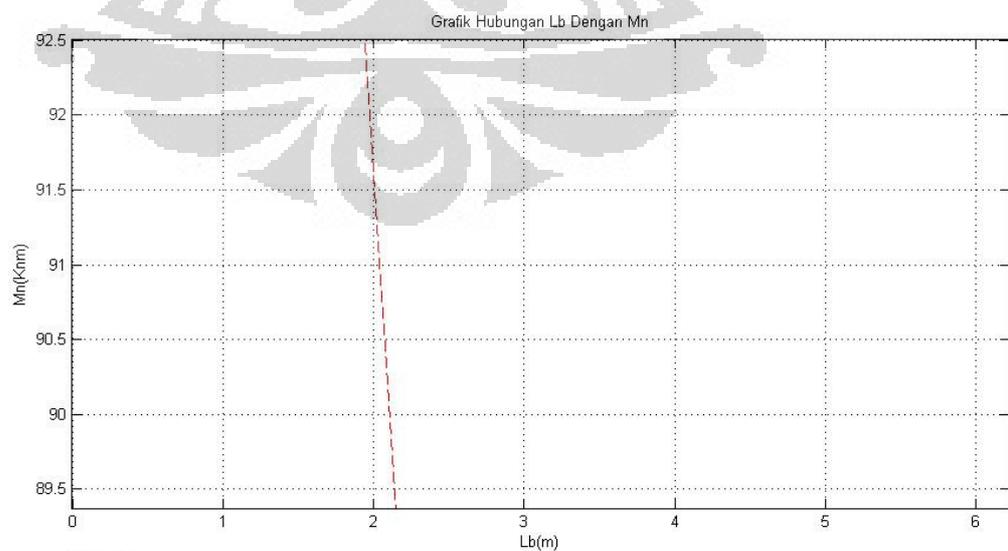
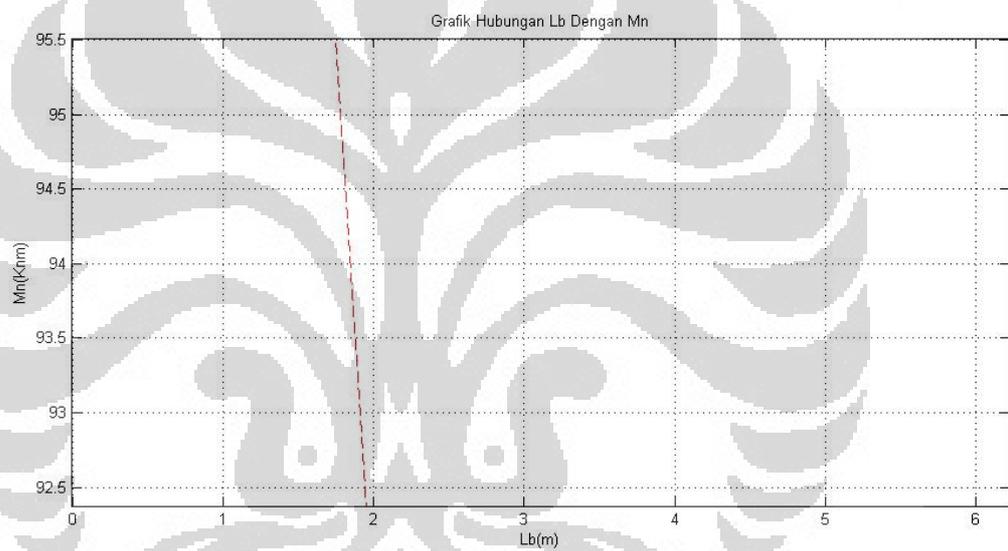
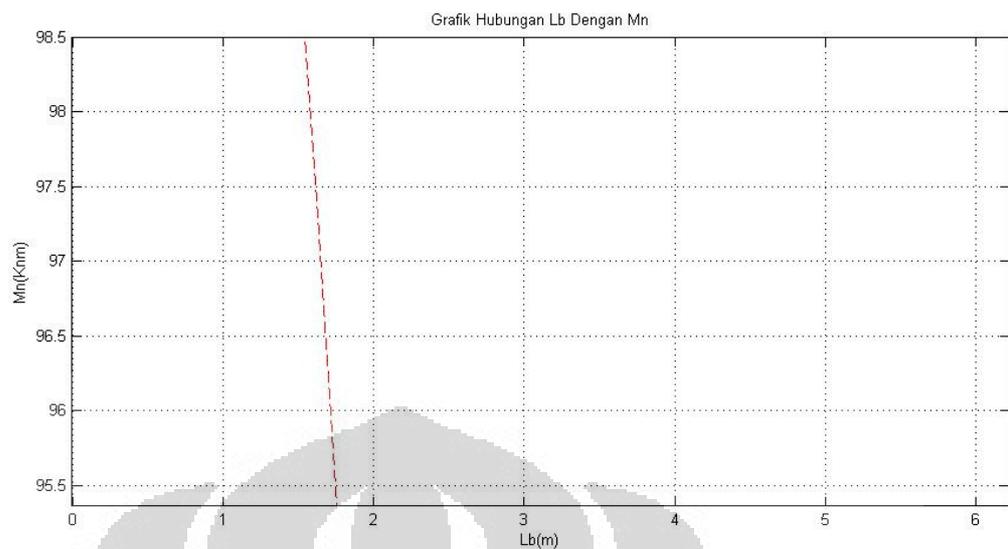




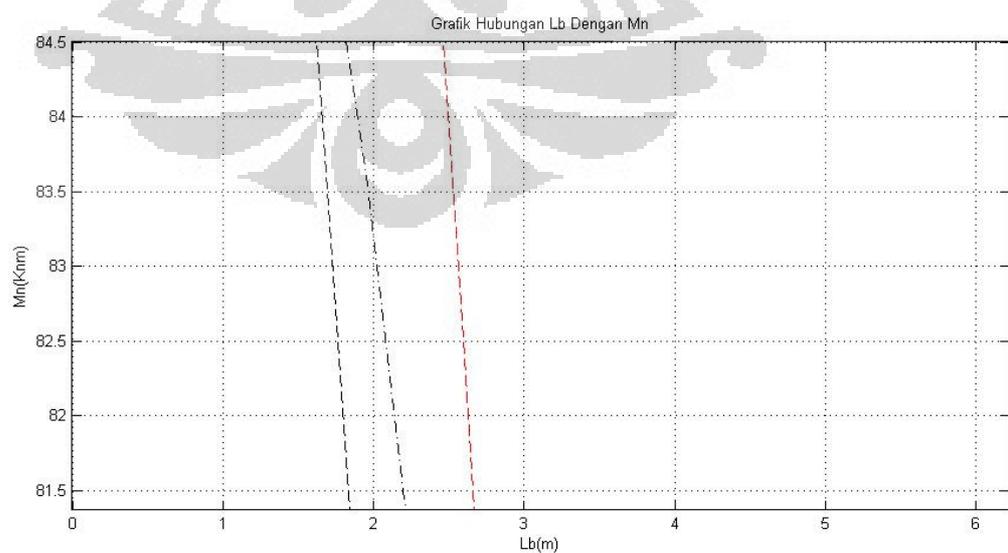
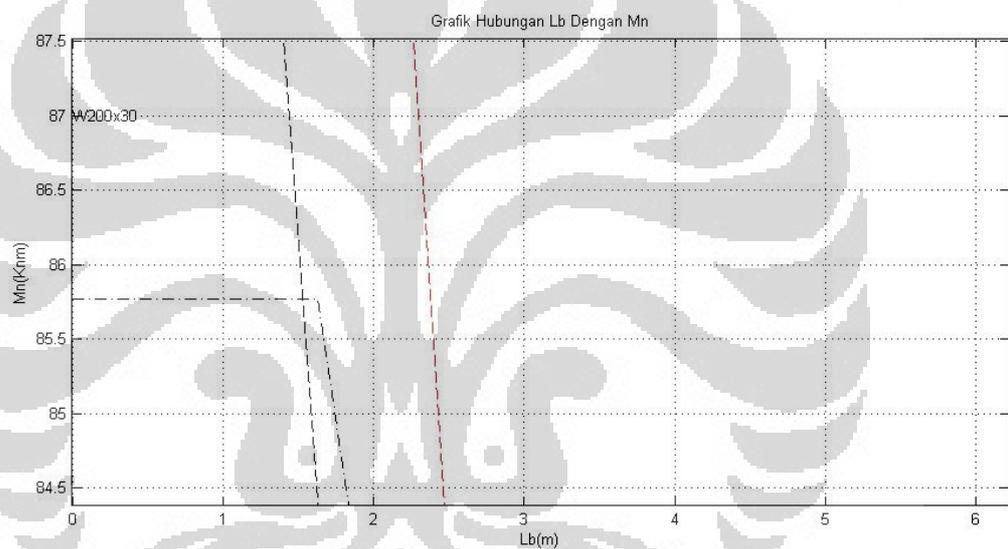
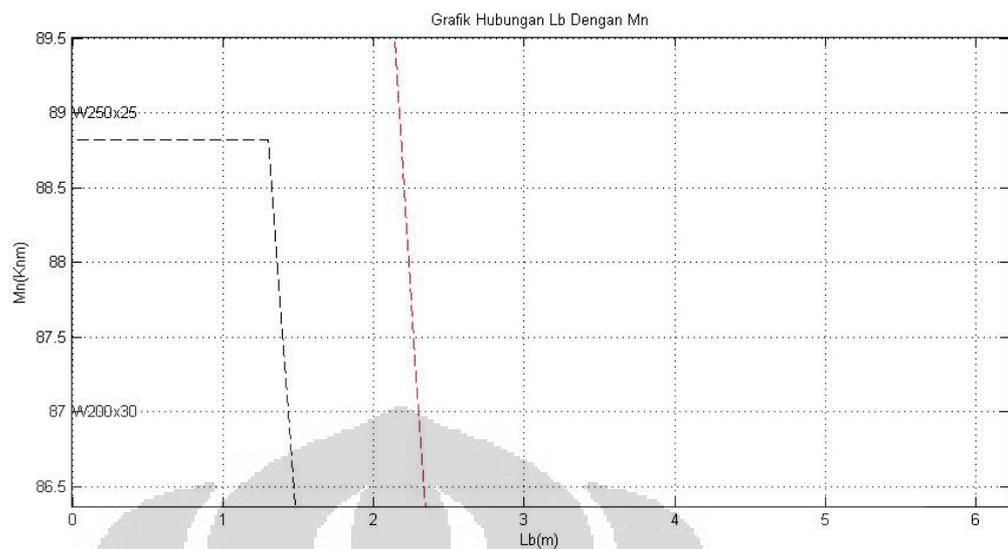


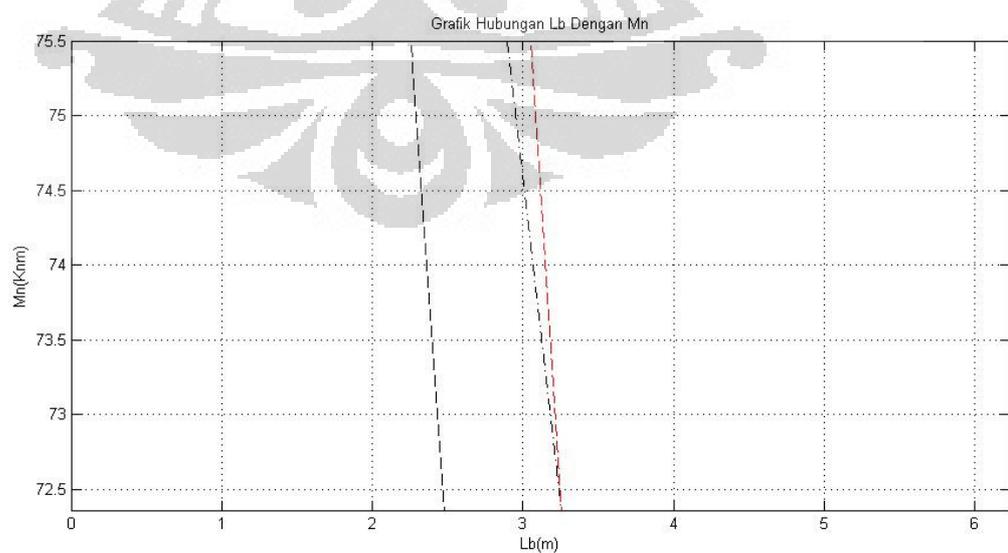
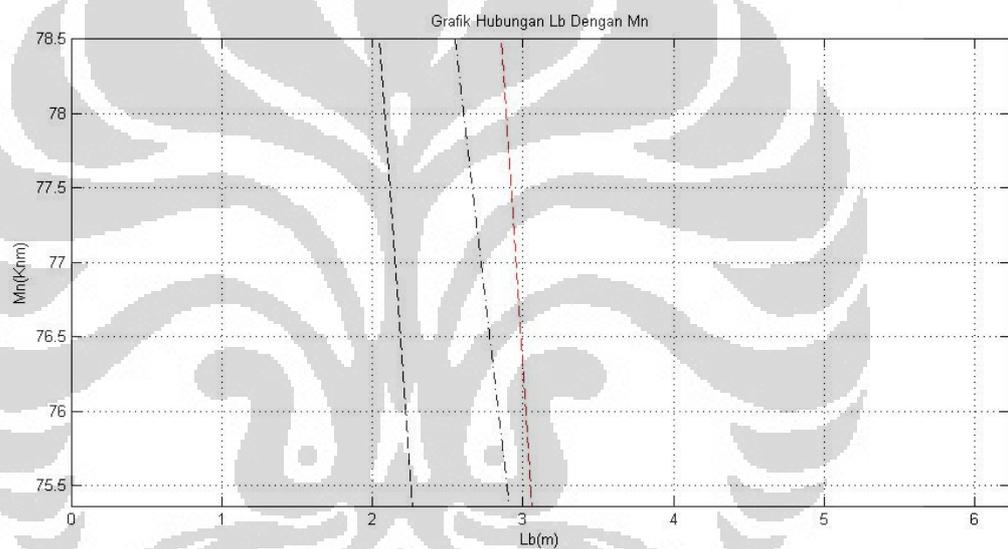
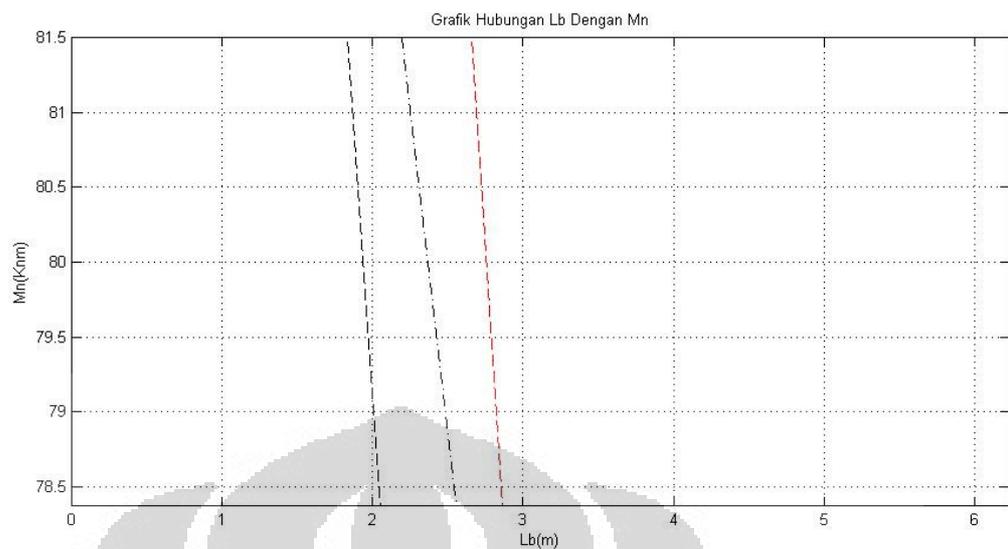
LAMPIRAN
GRAFIK MOMEN NOMINAL
FY = 285 Mpa

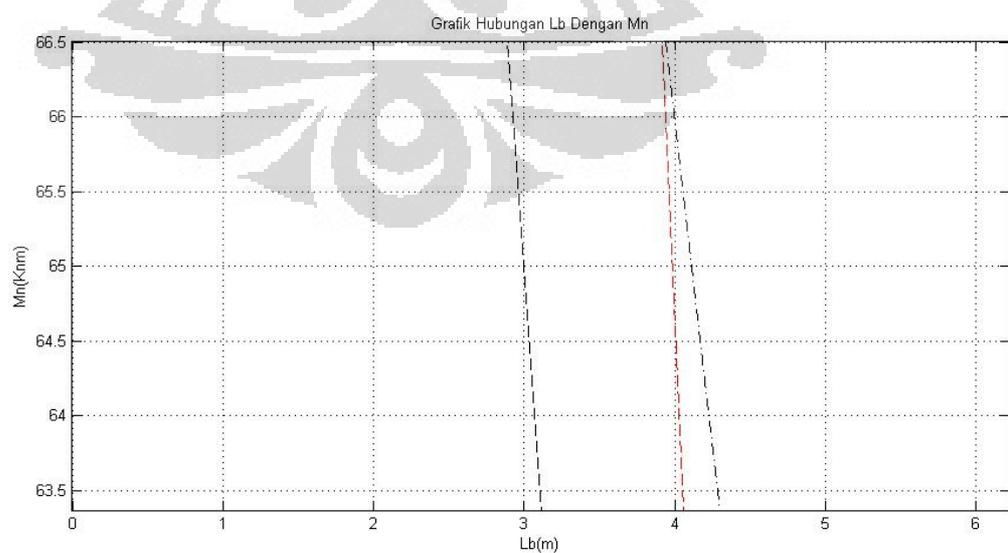
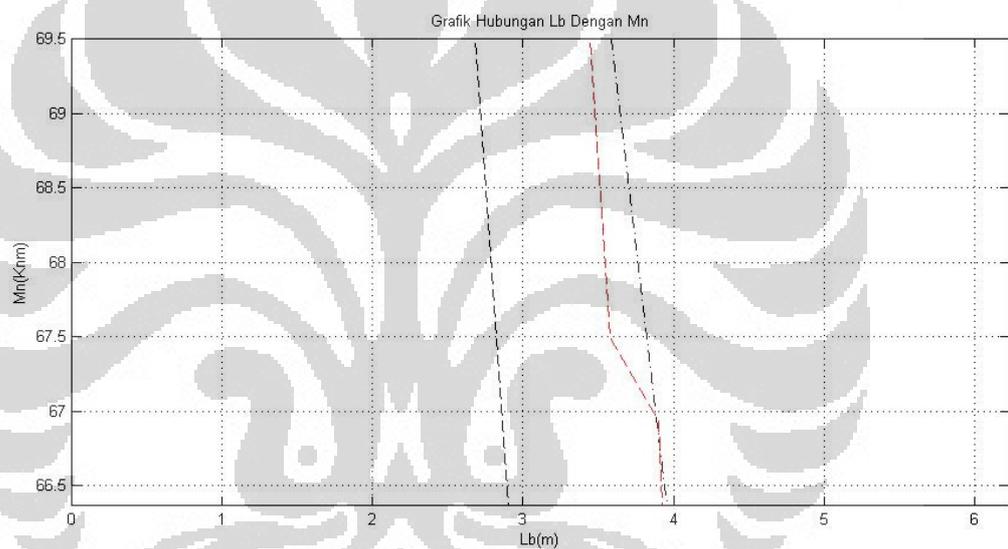
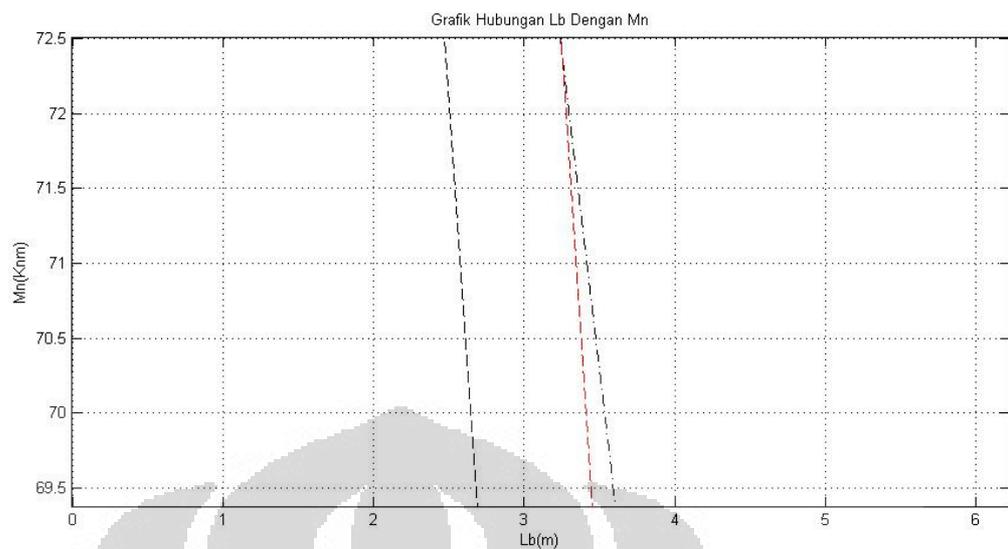


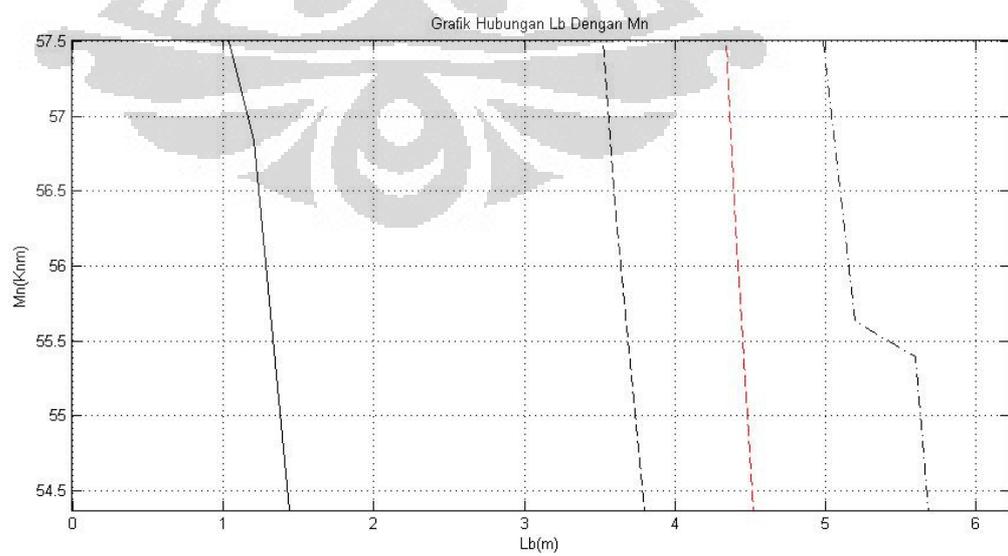
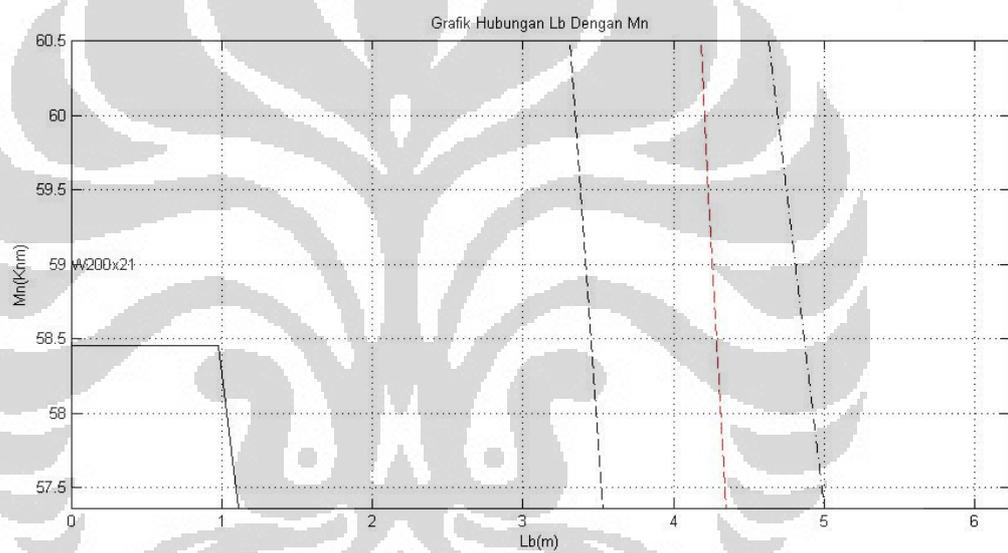
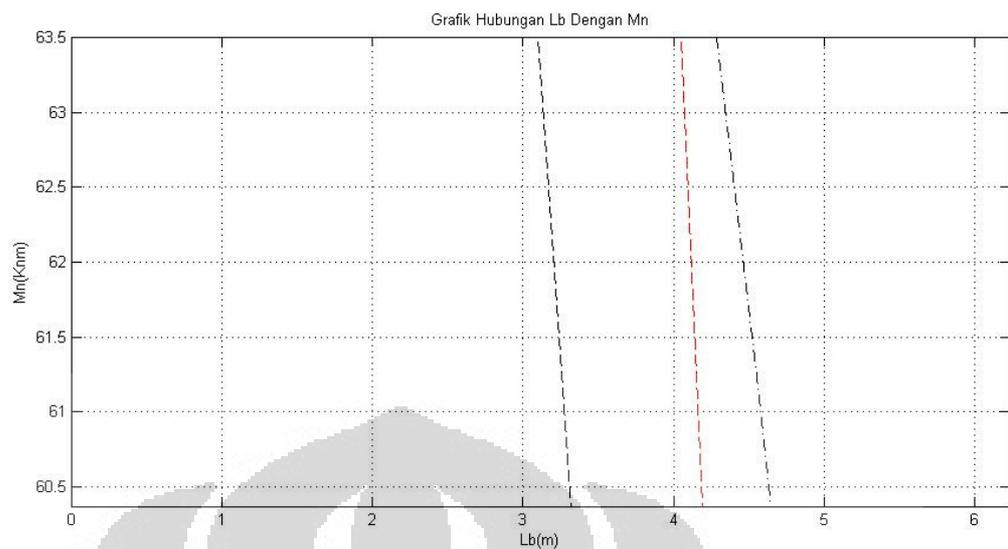


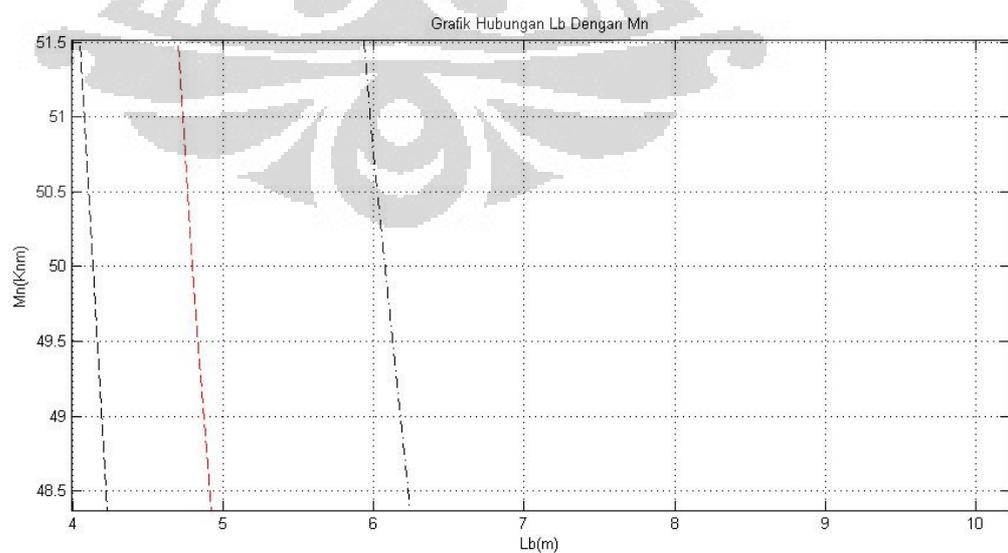
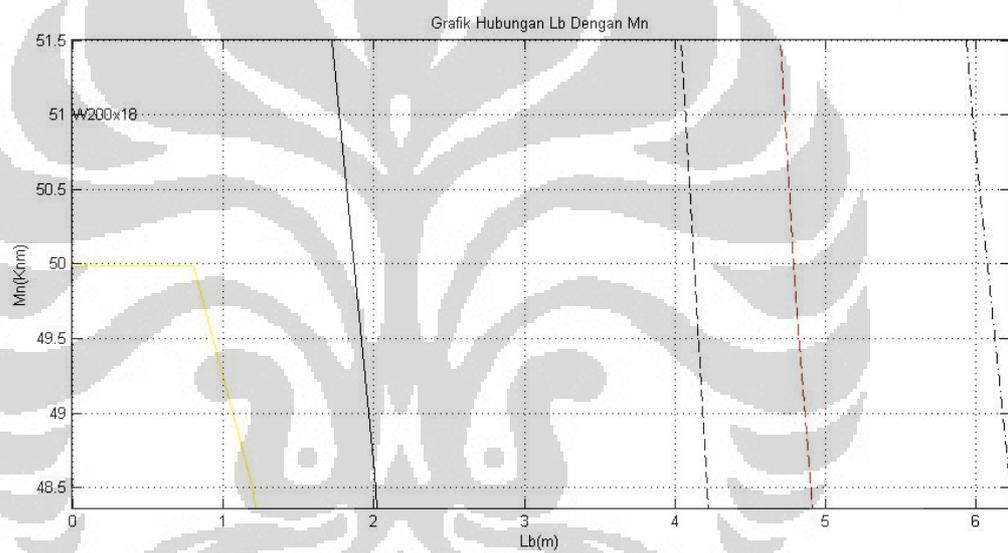
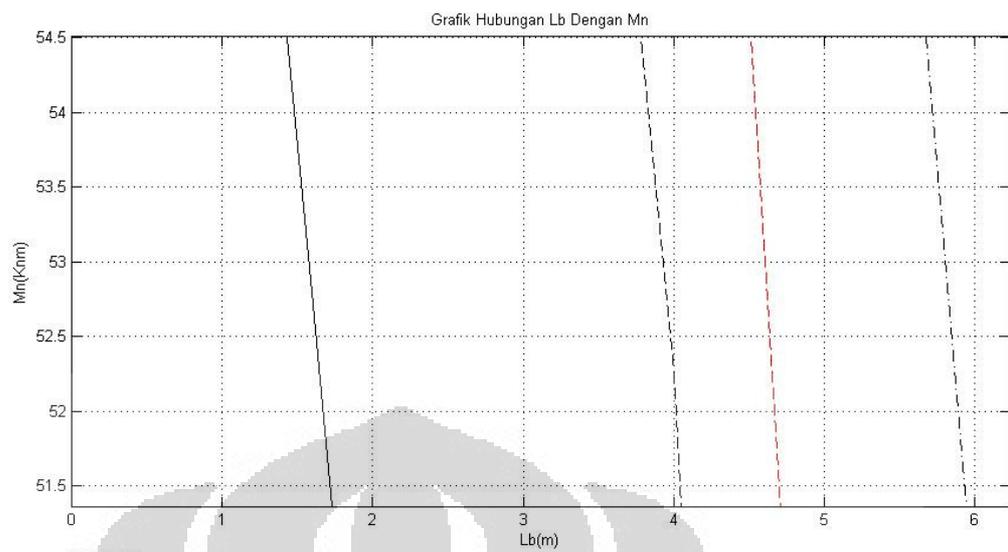
W250x25

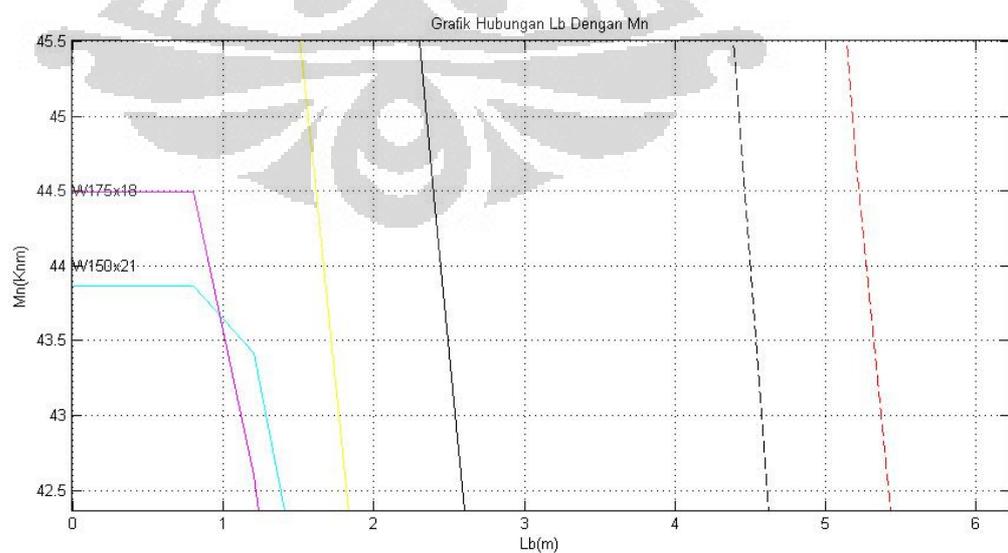
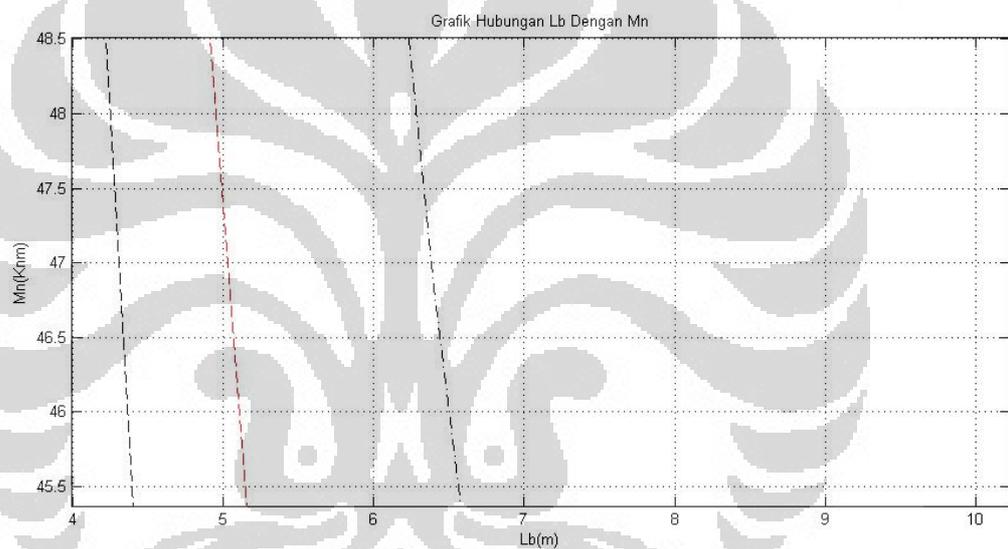
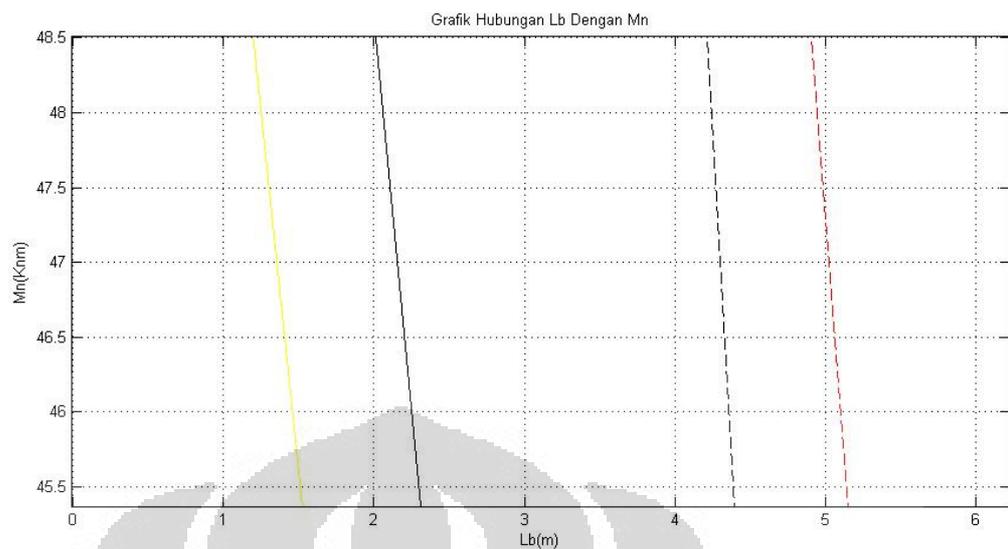


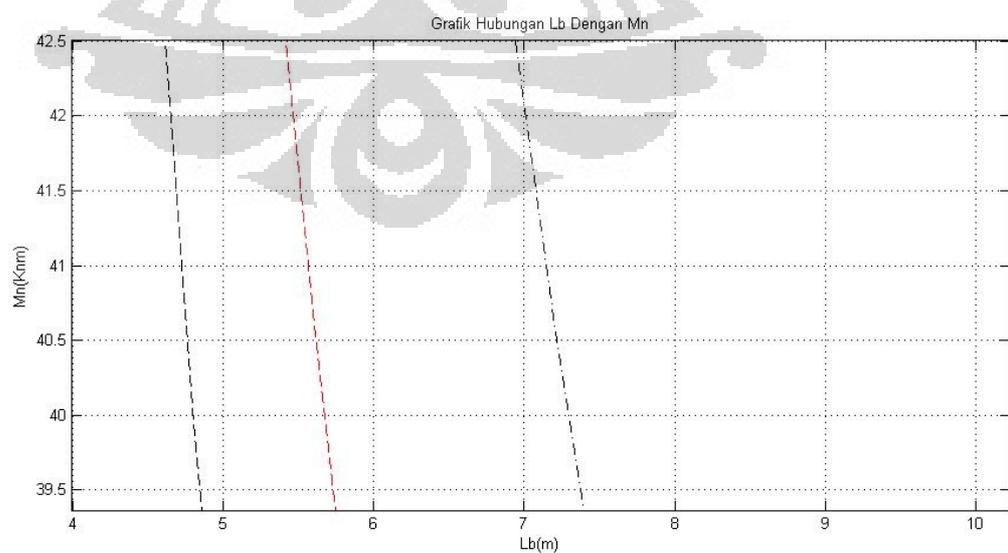
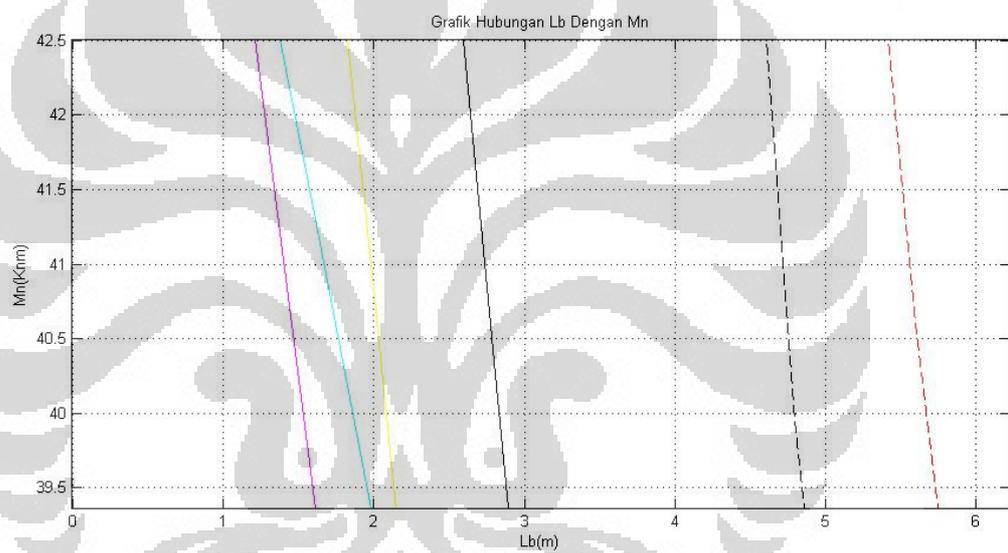
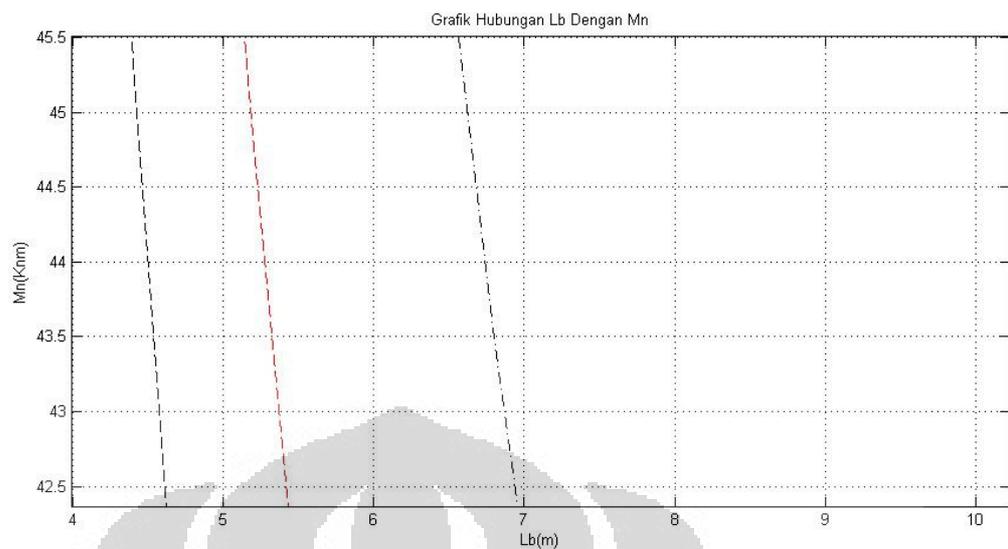


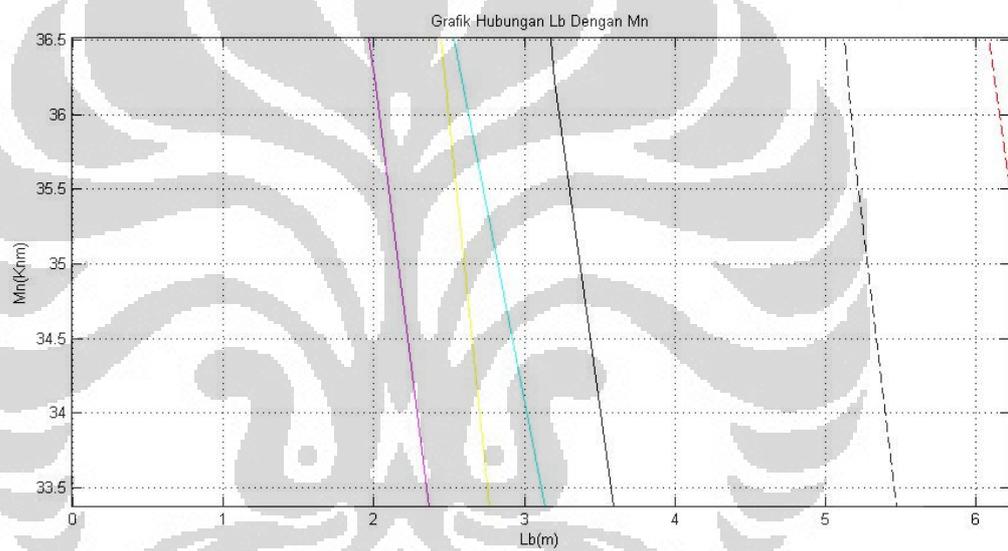
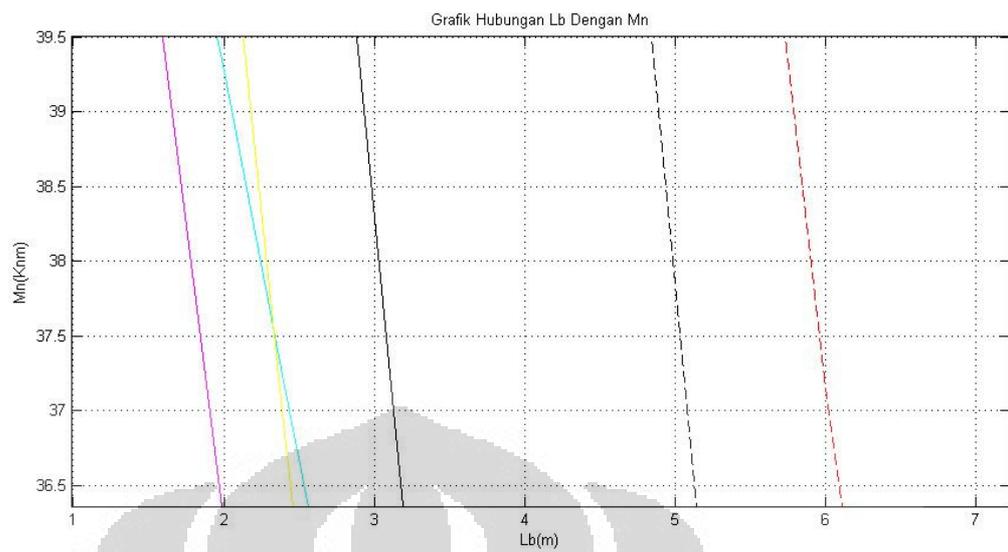


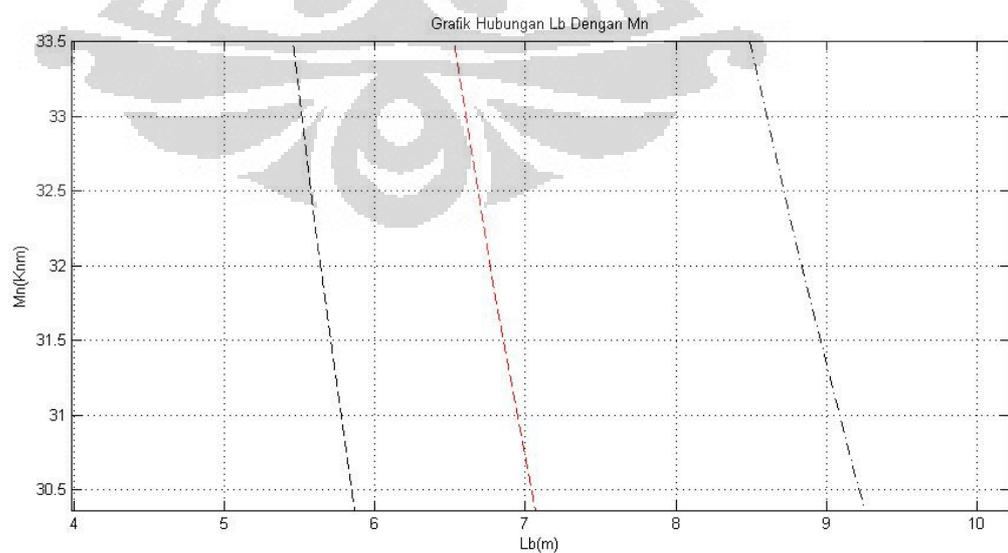
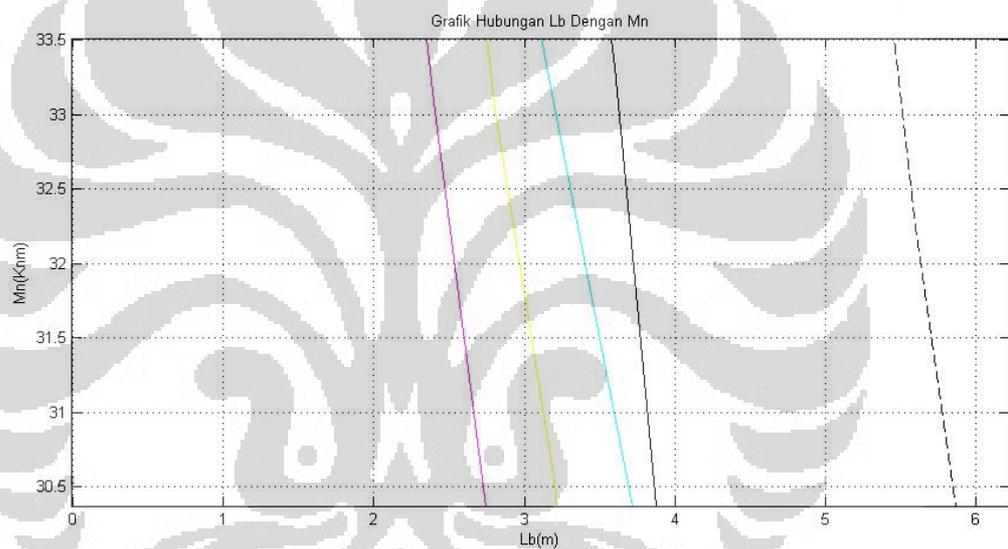
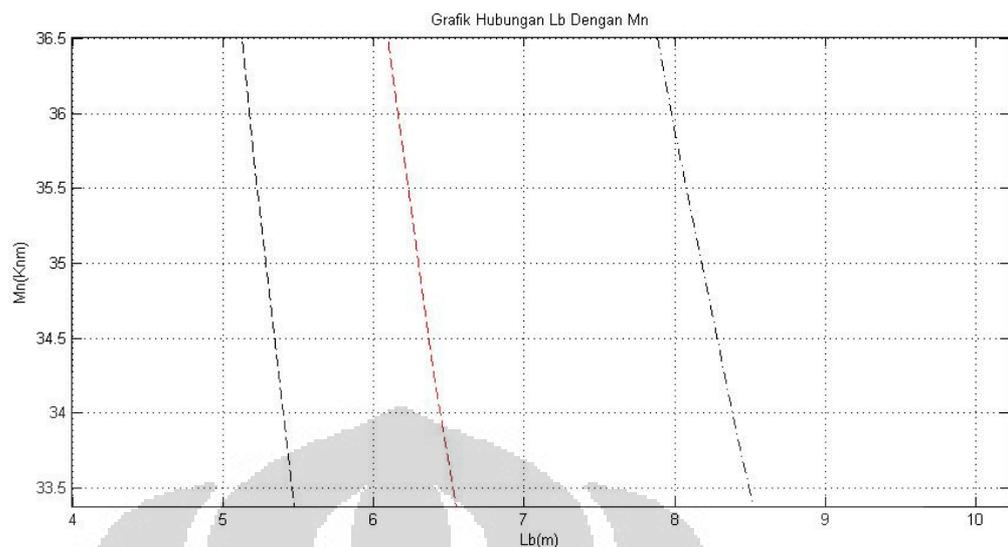


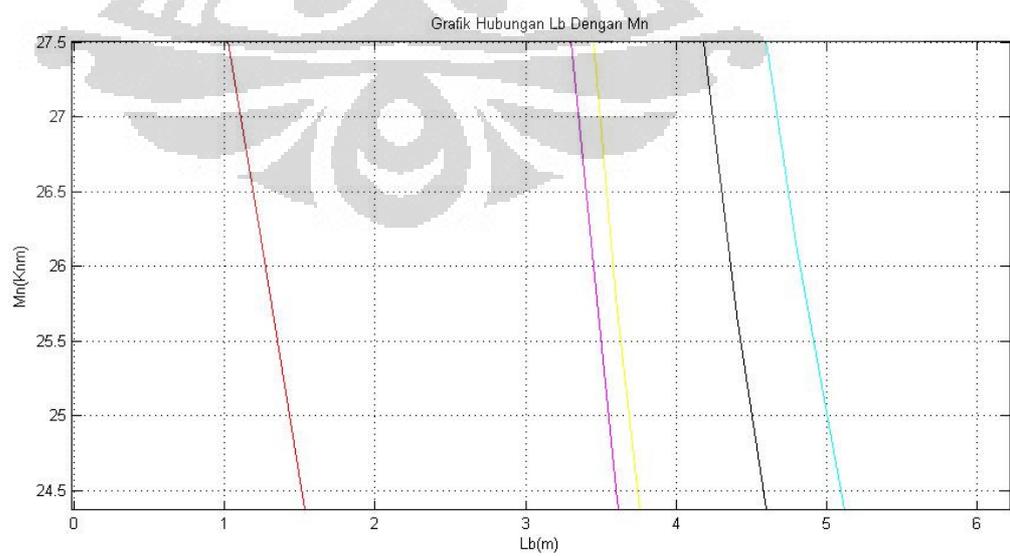
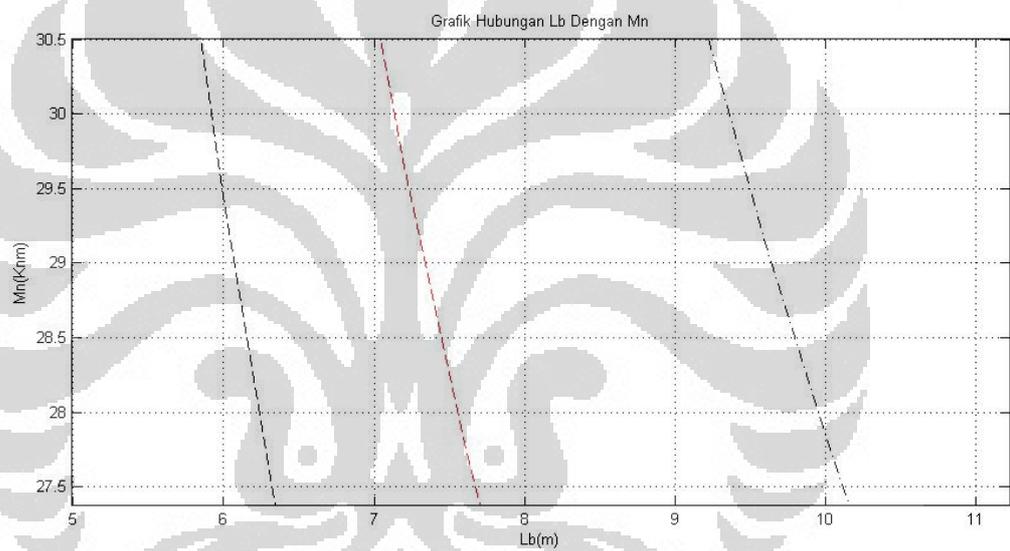
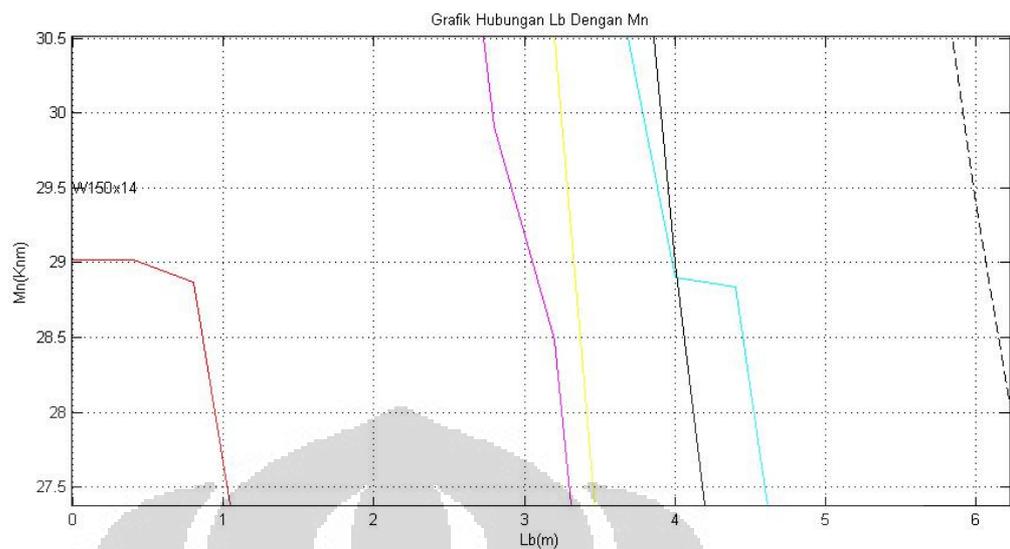


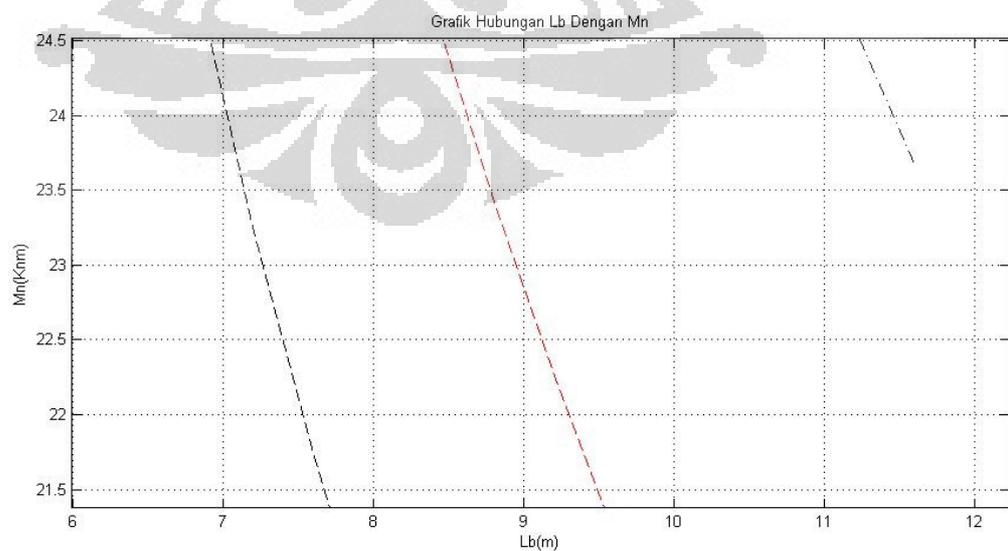
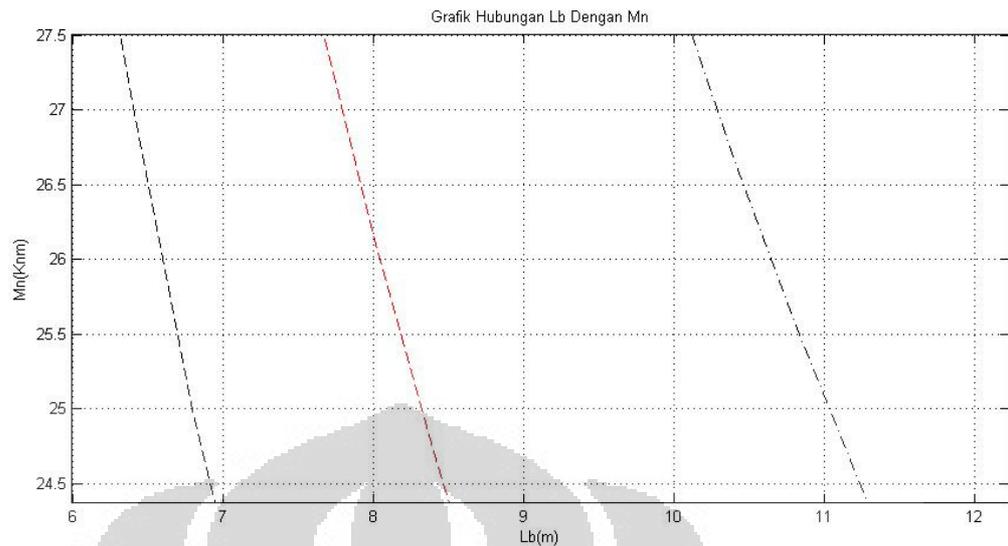


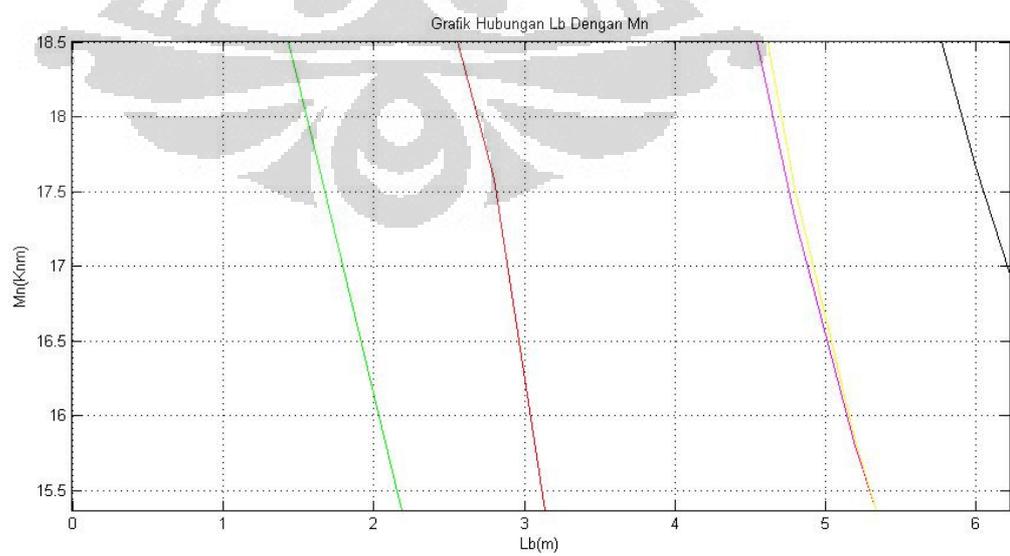
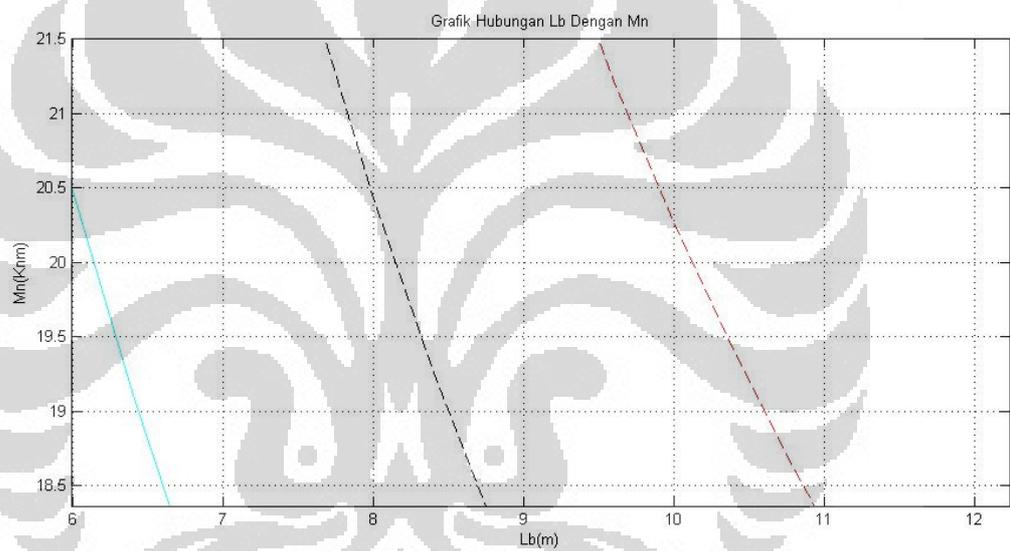
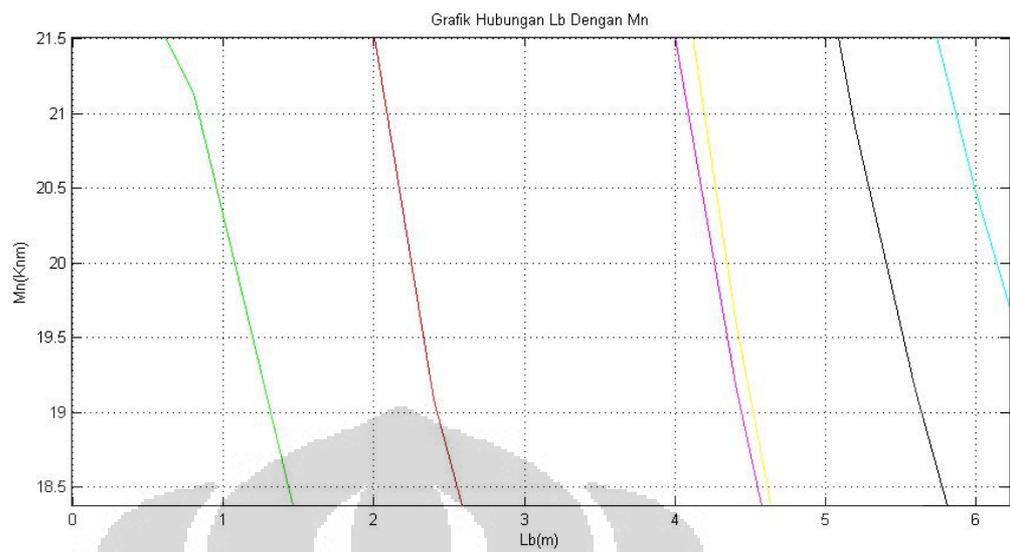


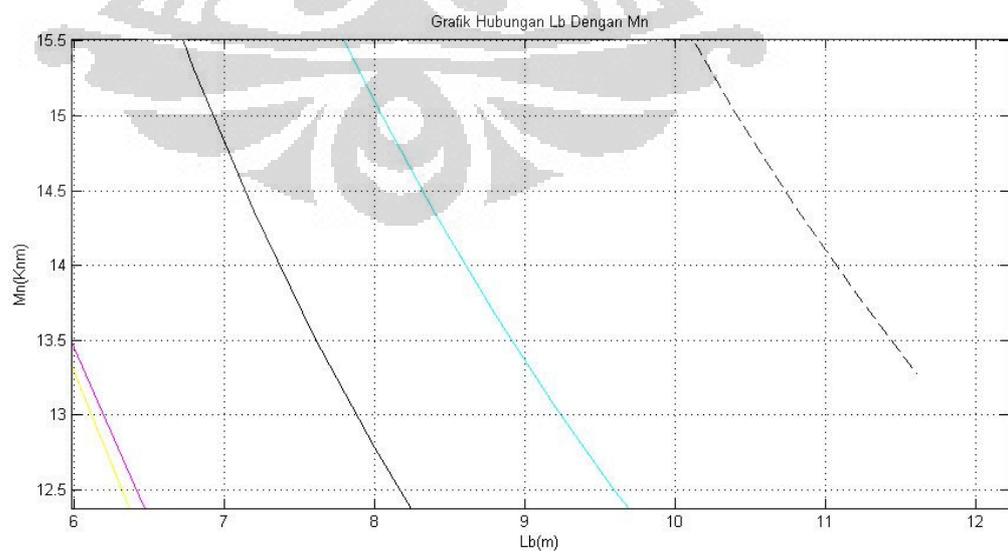
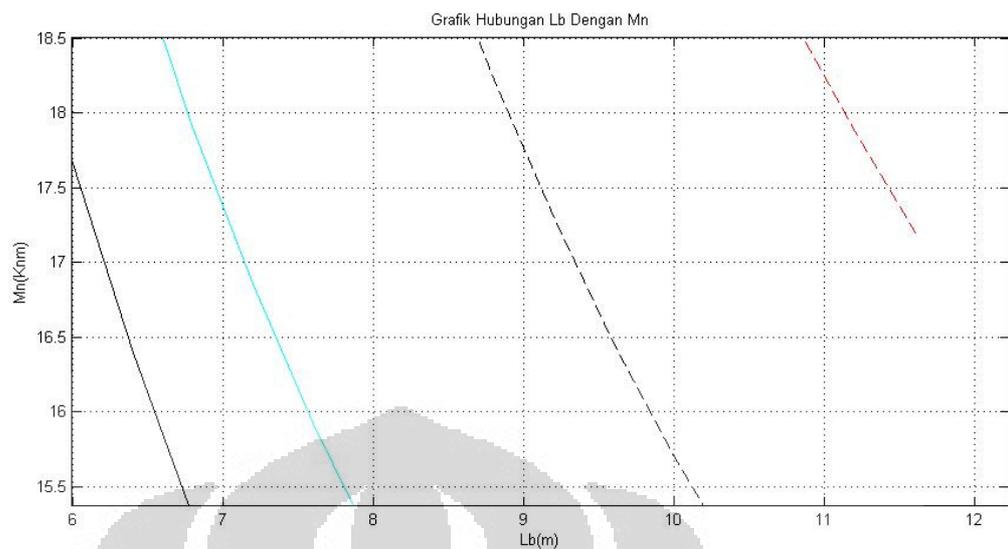


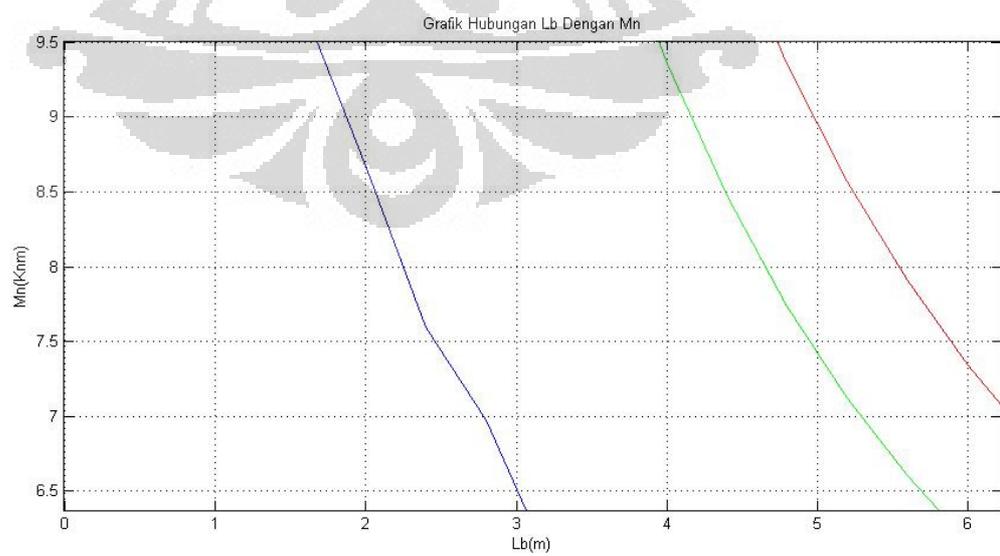
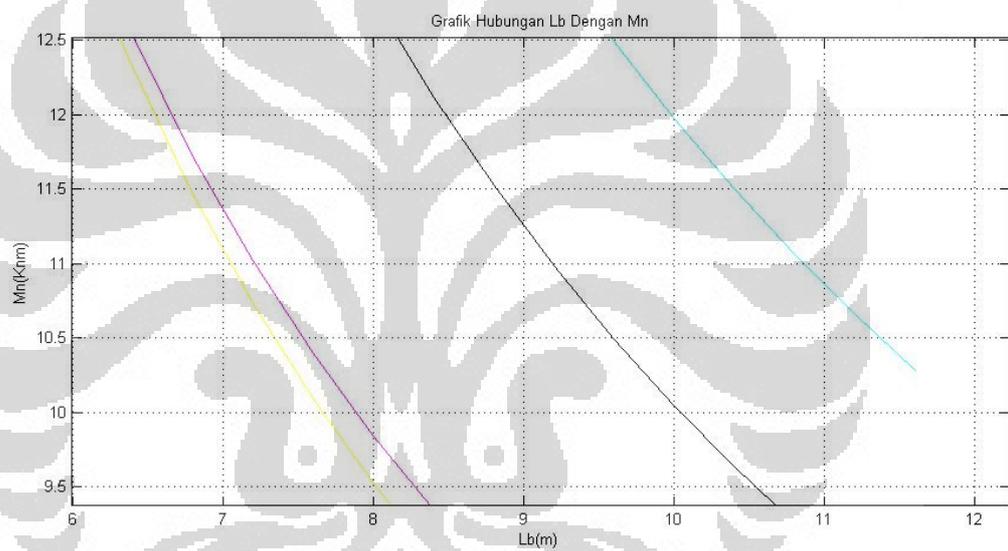
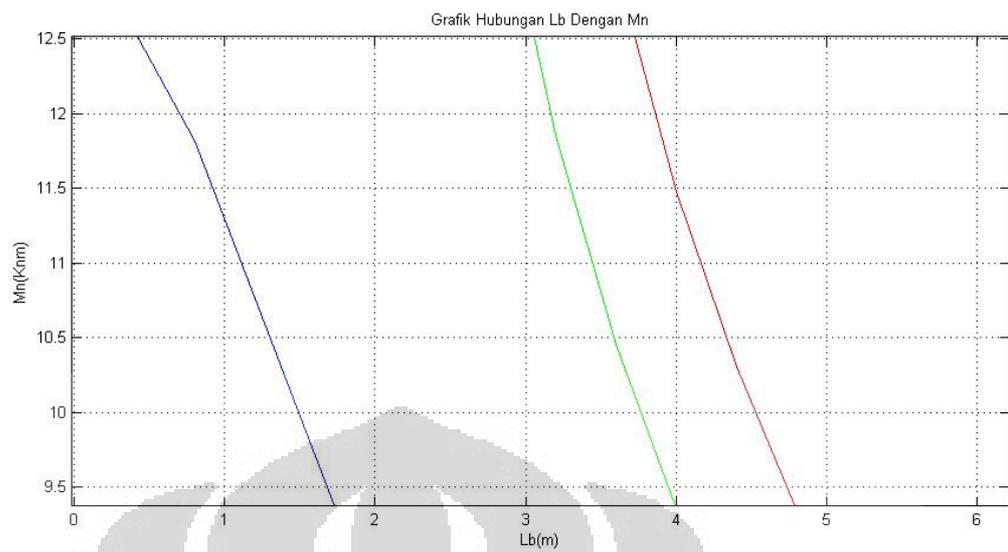


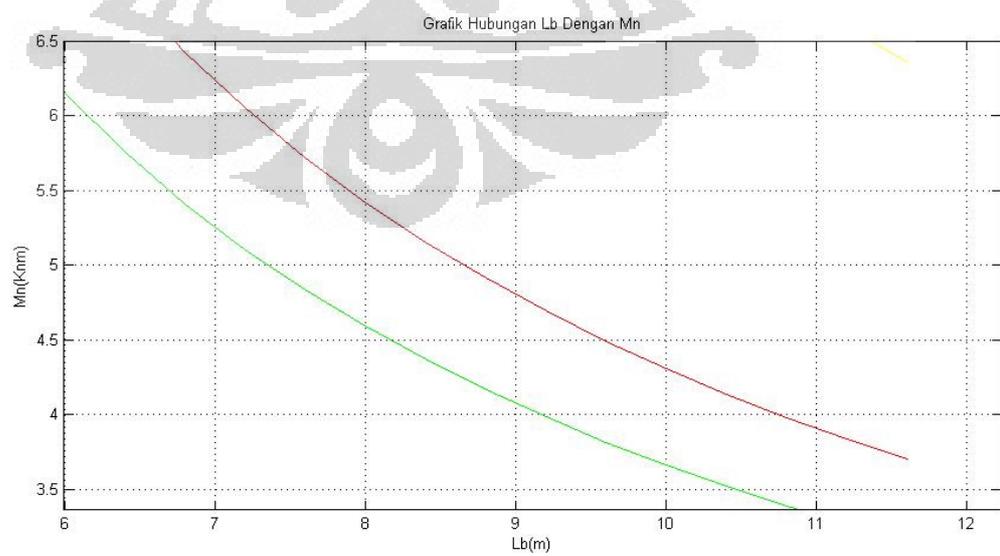
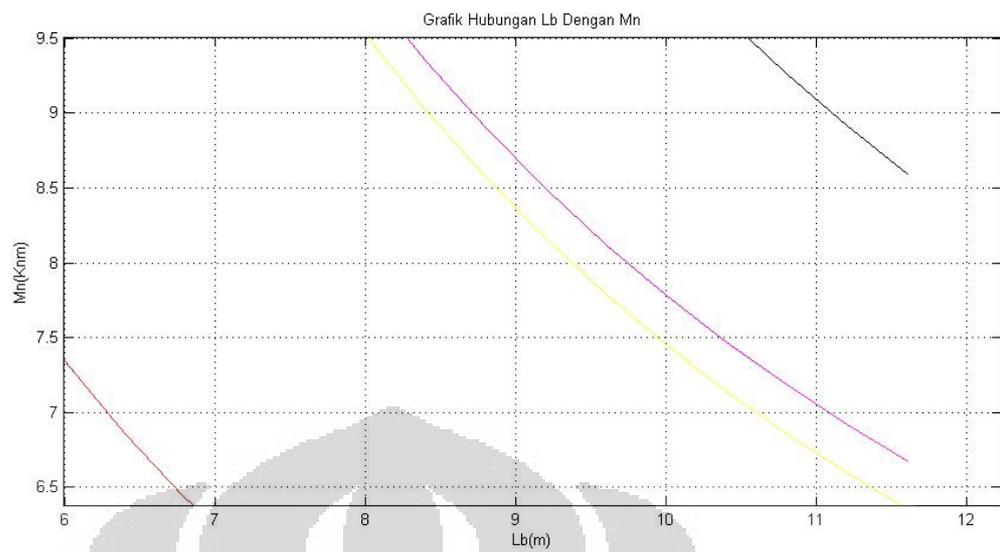


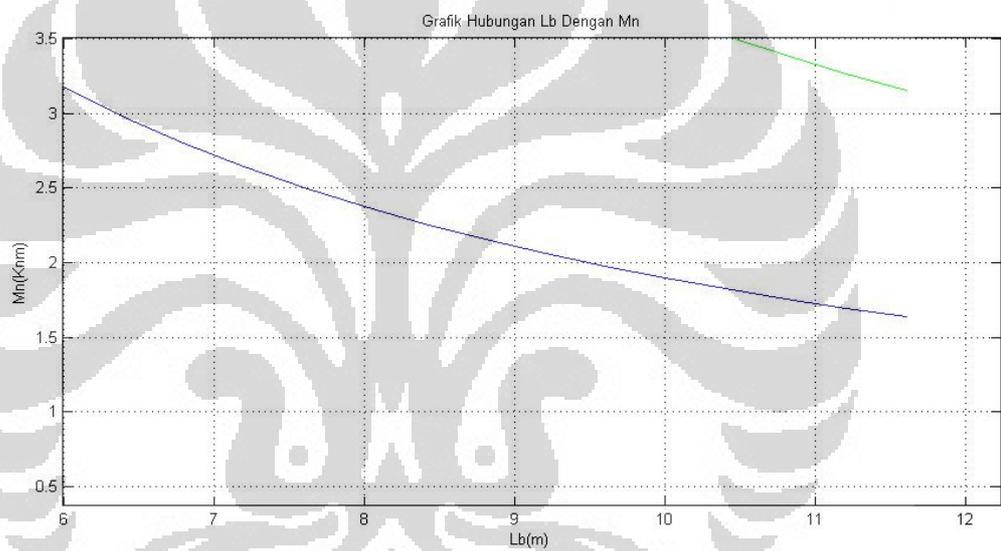
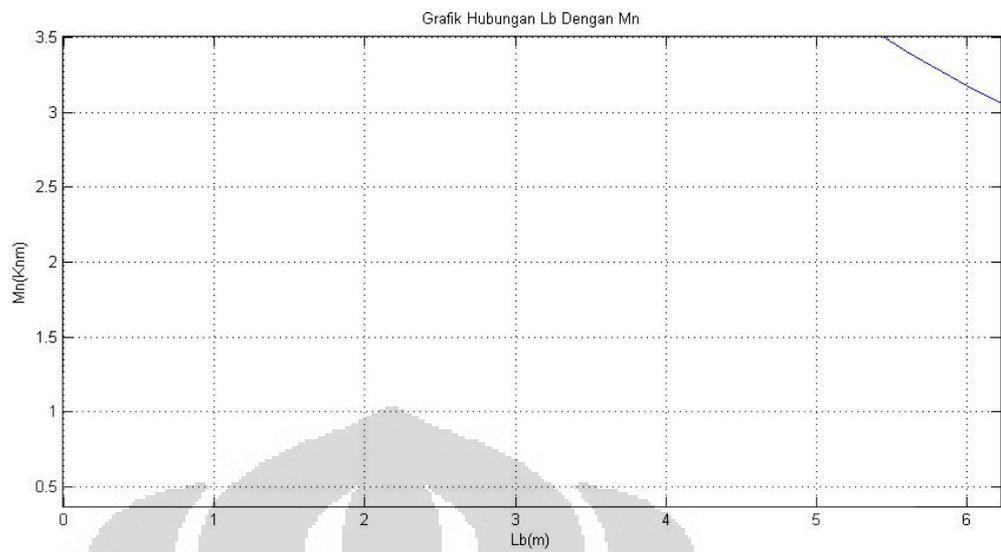




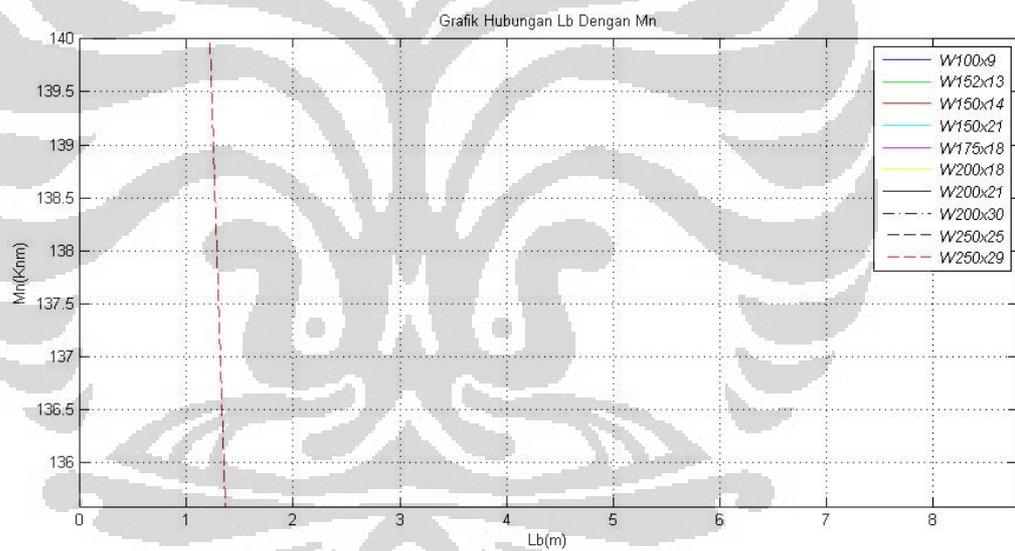
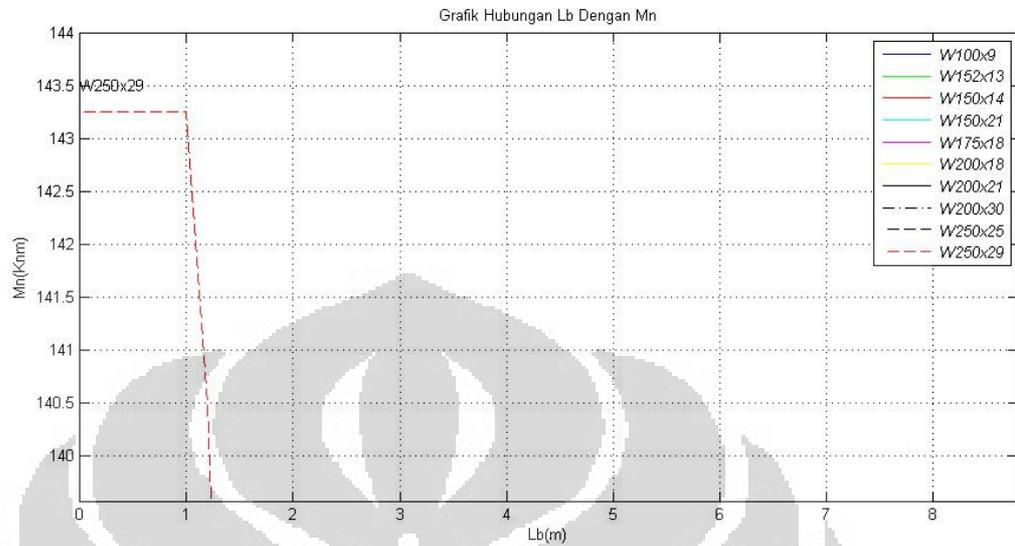


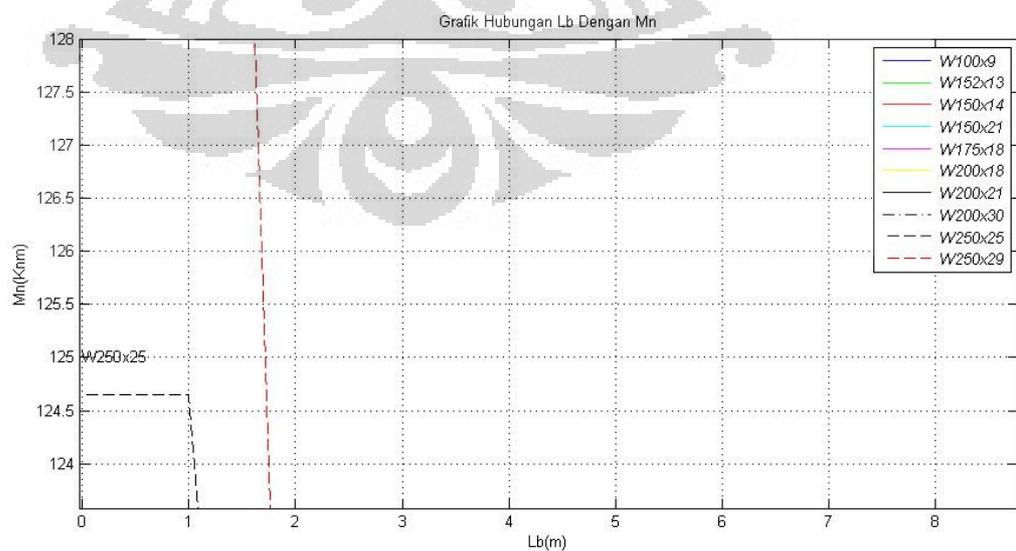
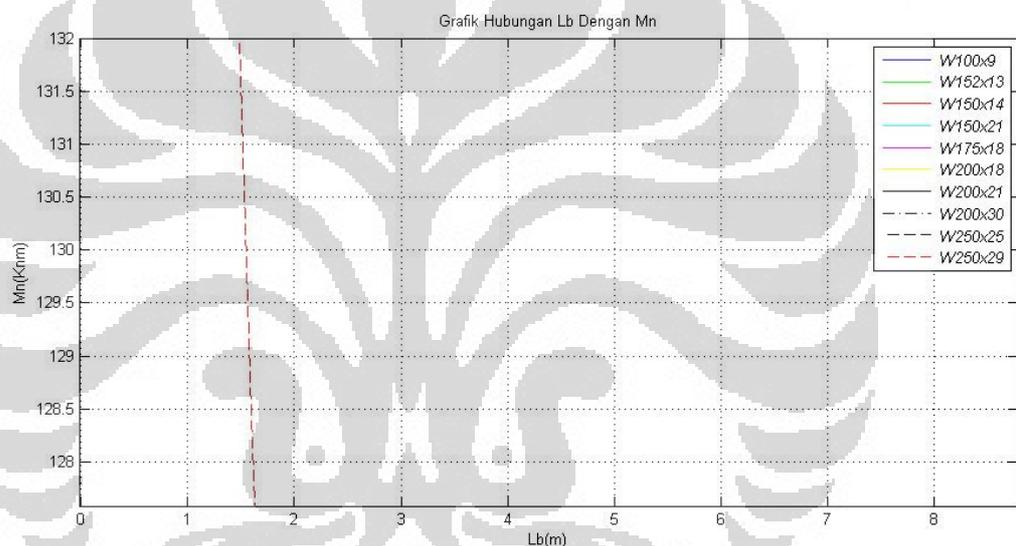
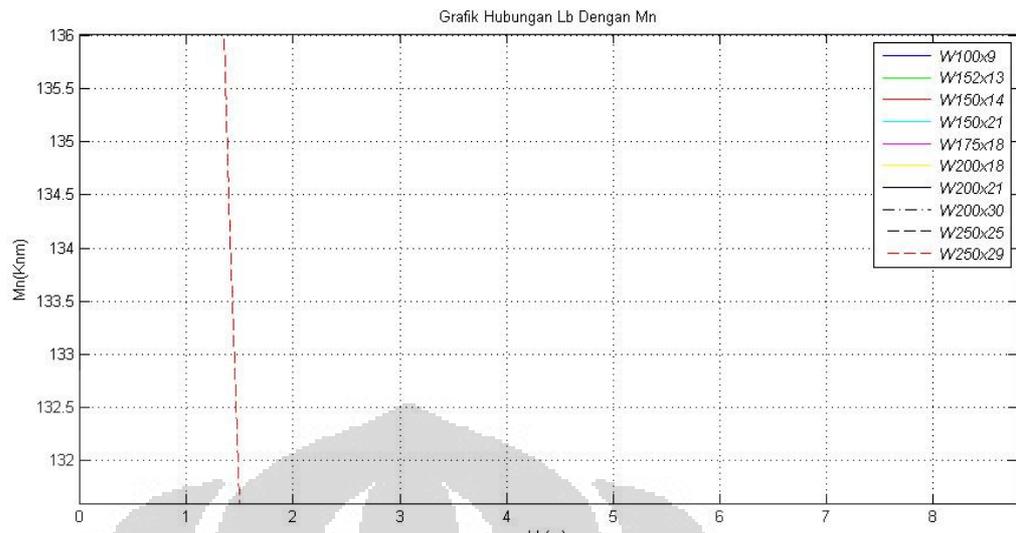


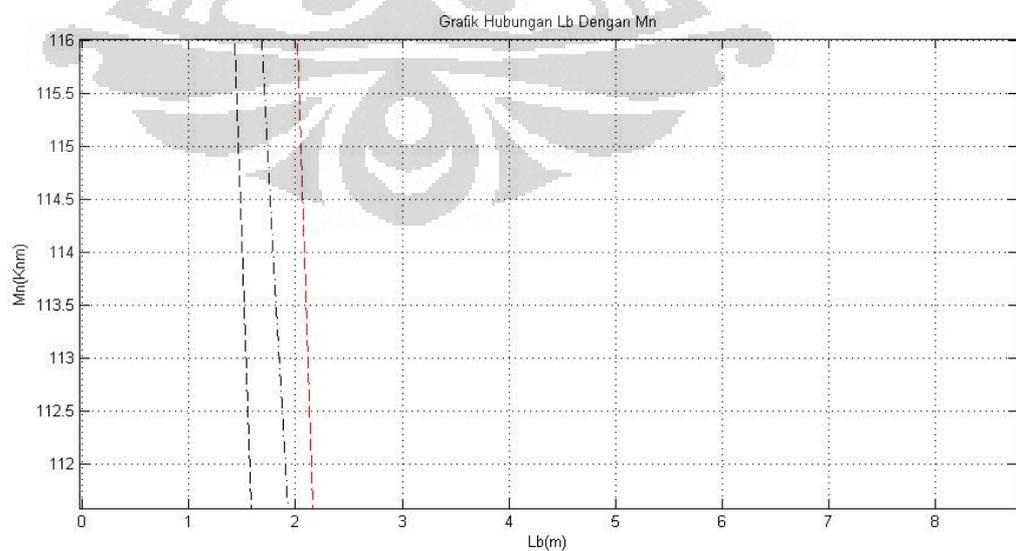
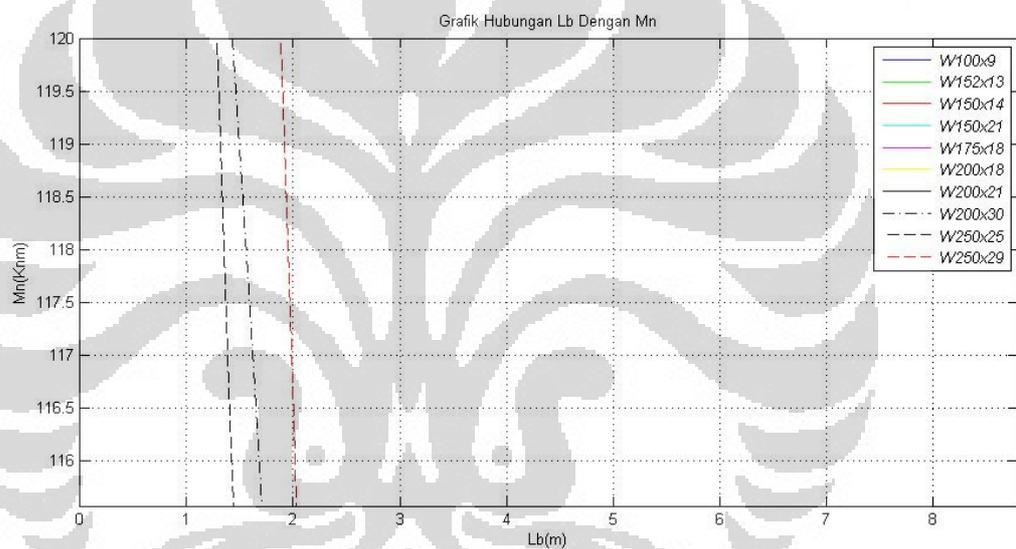
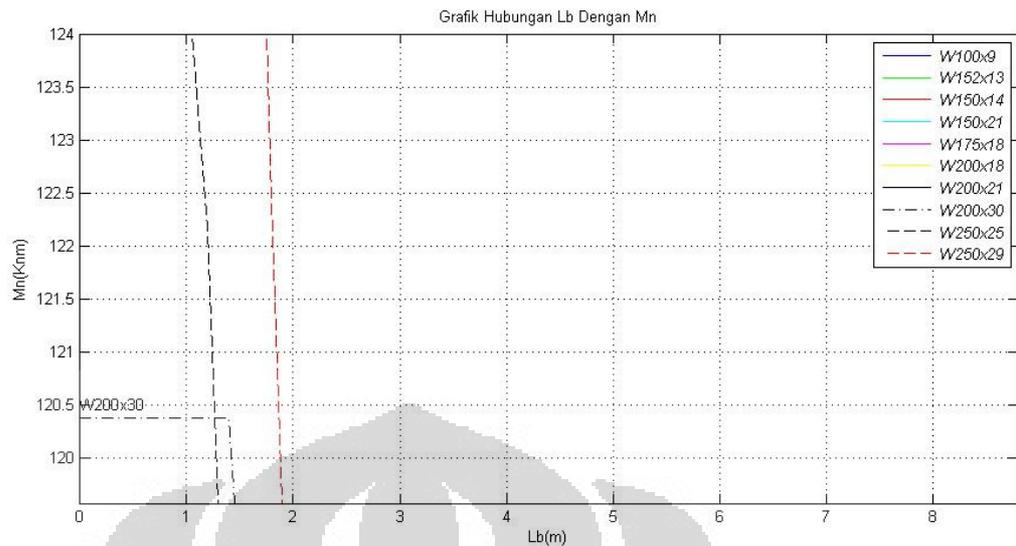


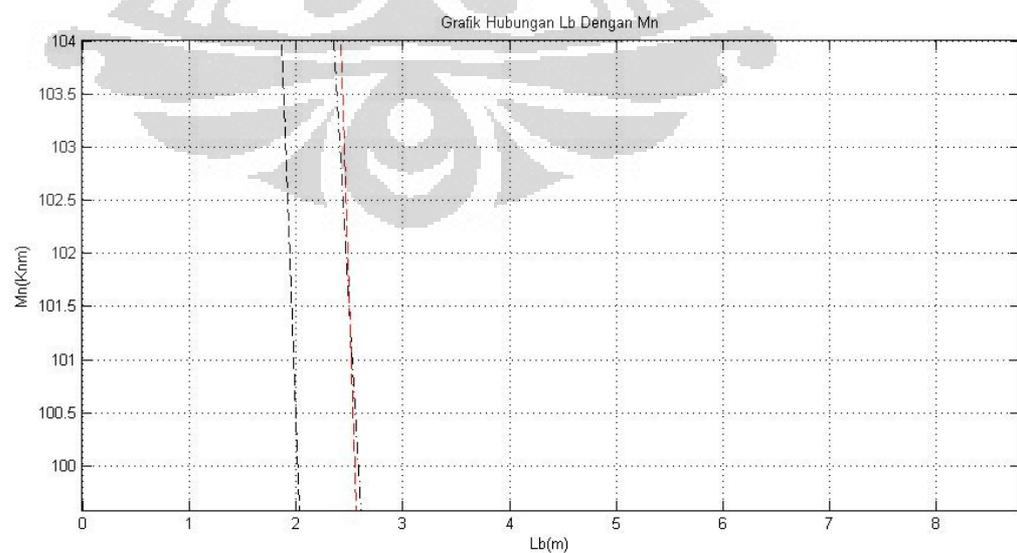
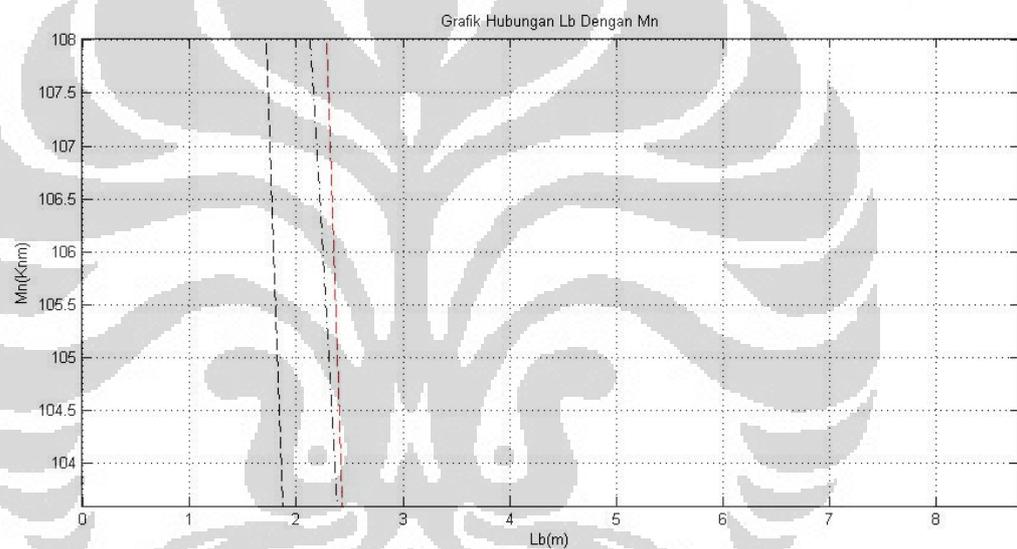
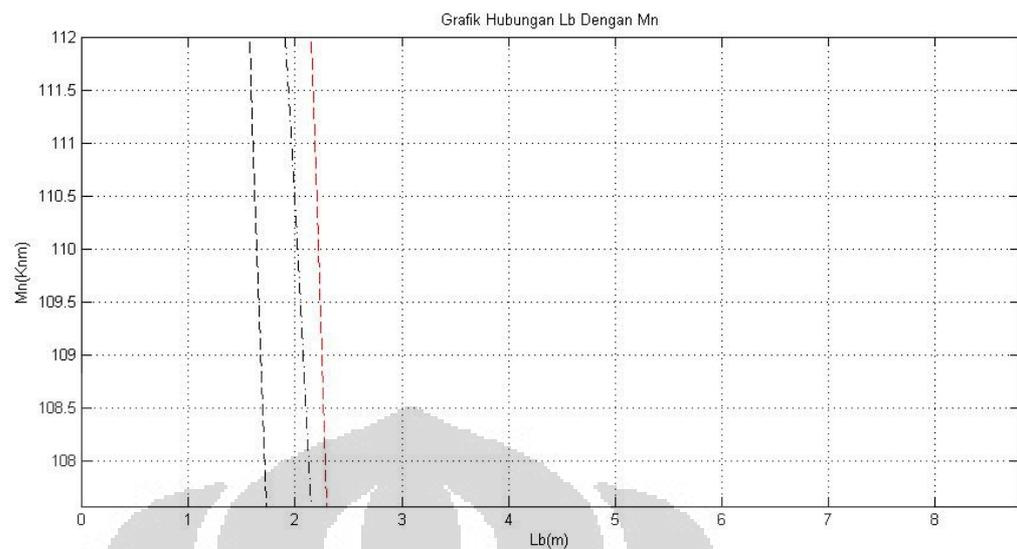


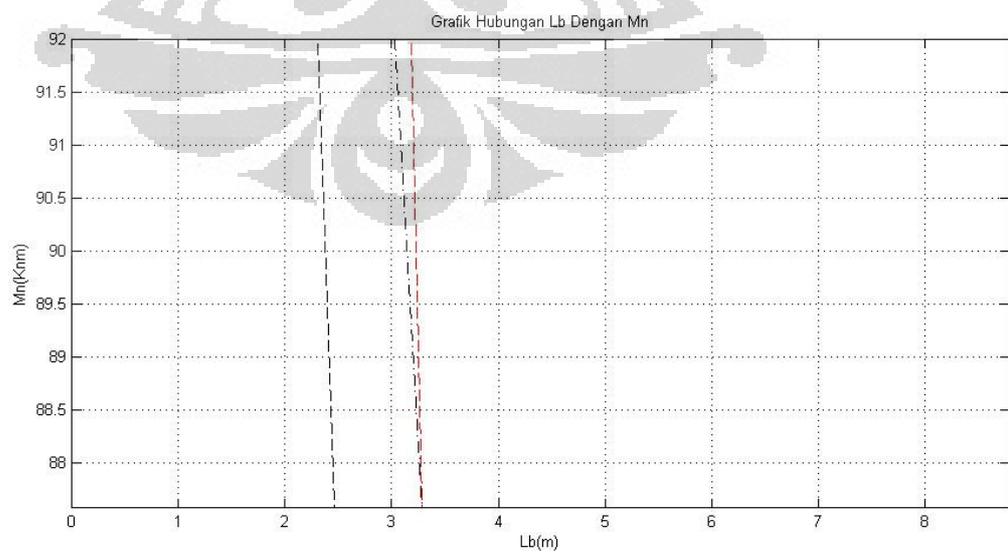
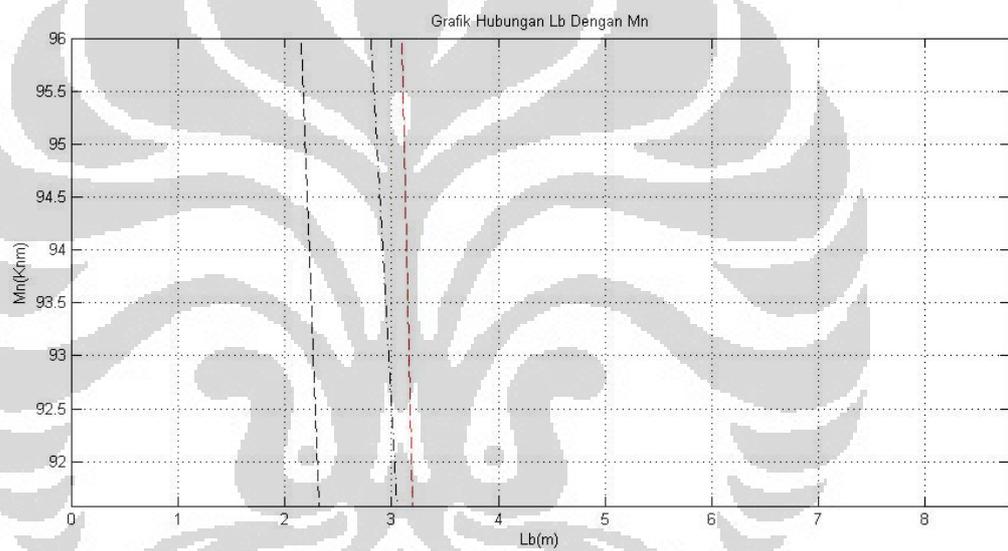
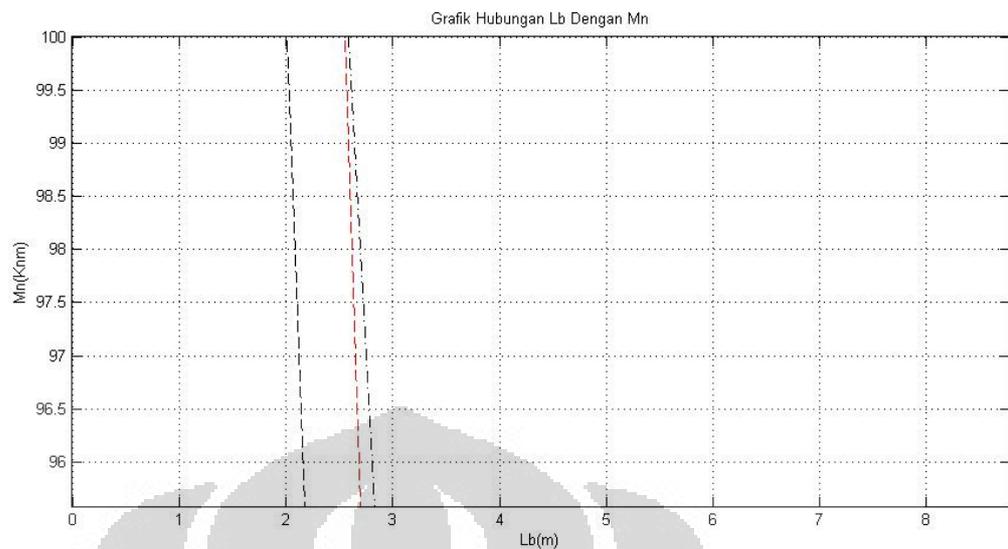
LAMPIRAN
GRAFIK MOMEN NOMINAL
FY = 400 Mpa

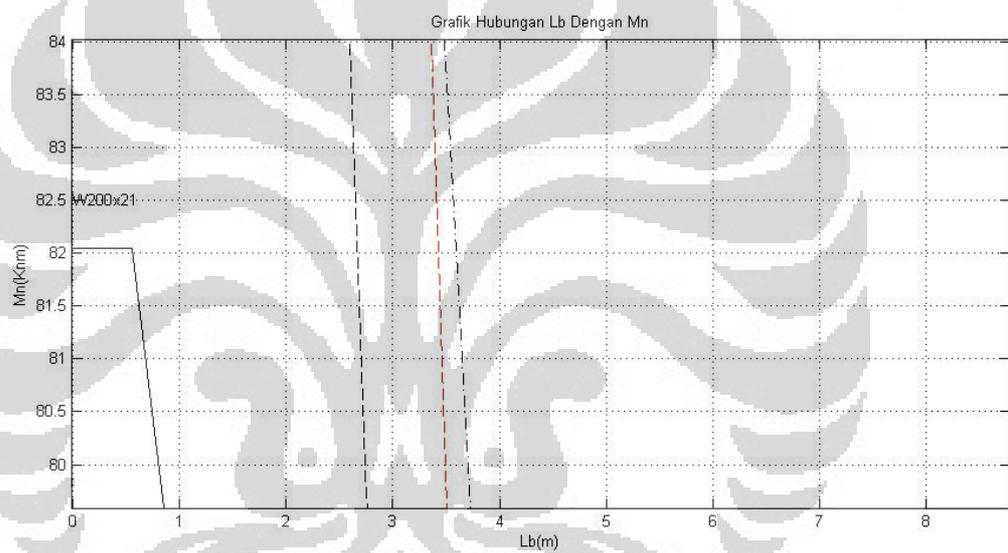
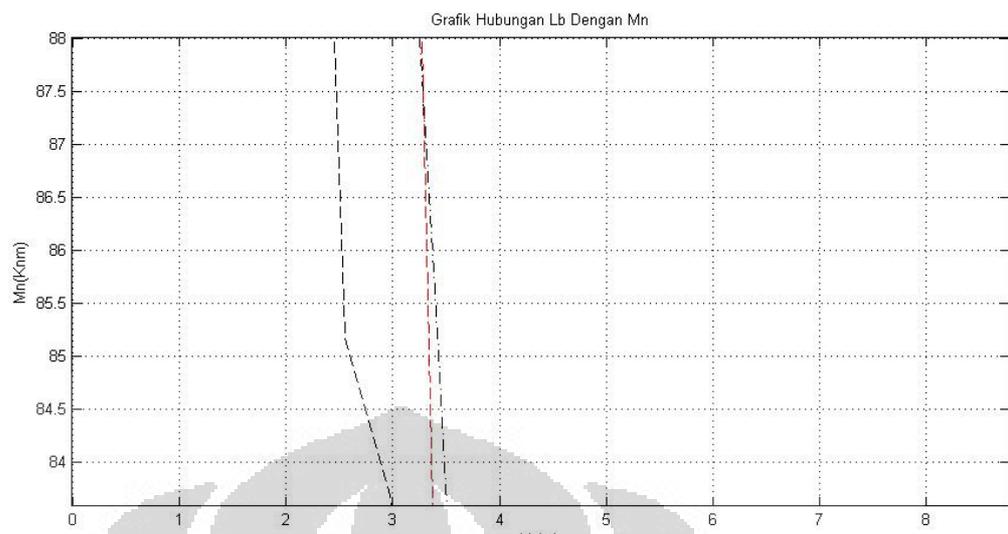


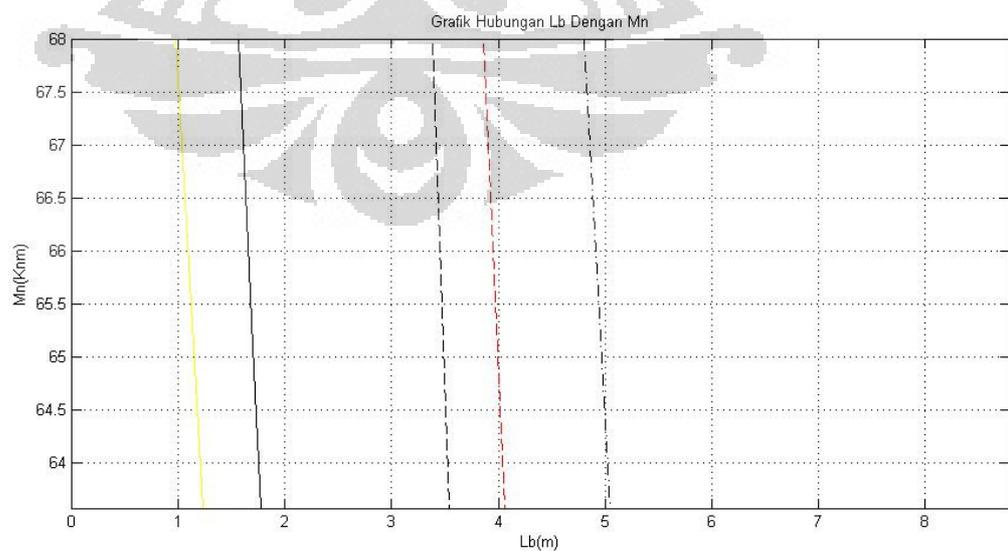
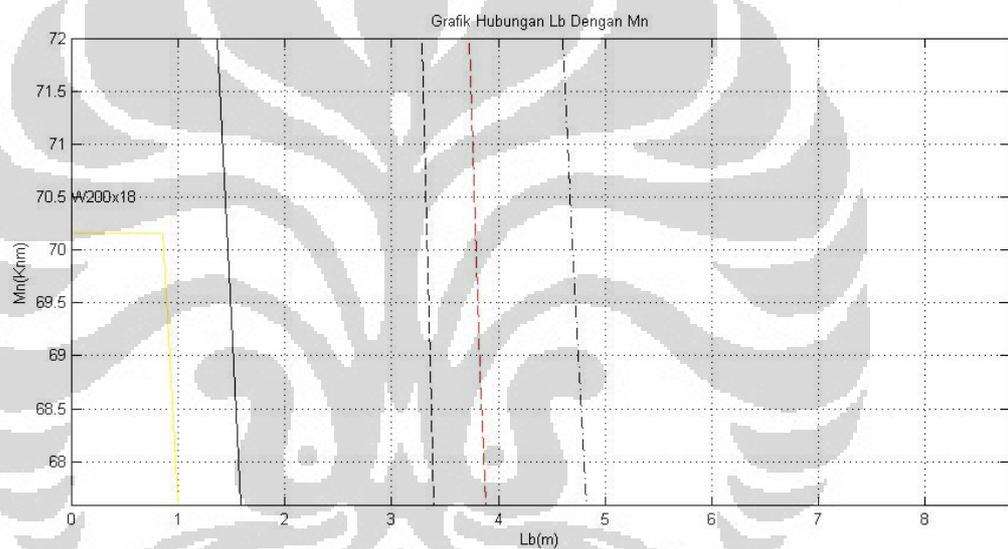
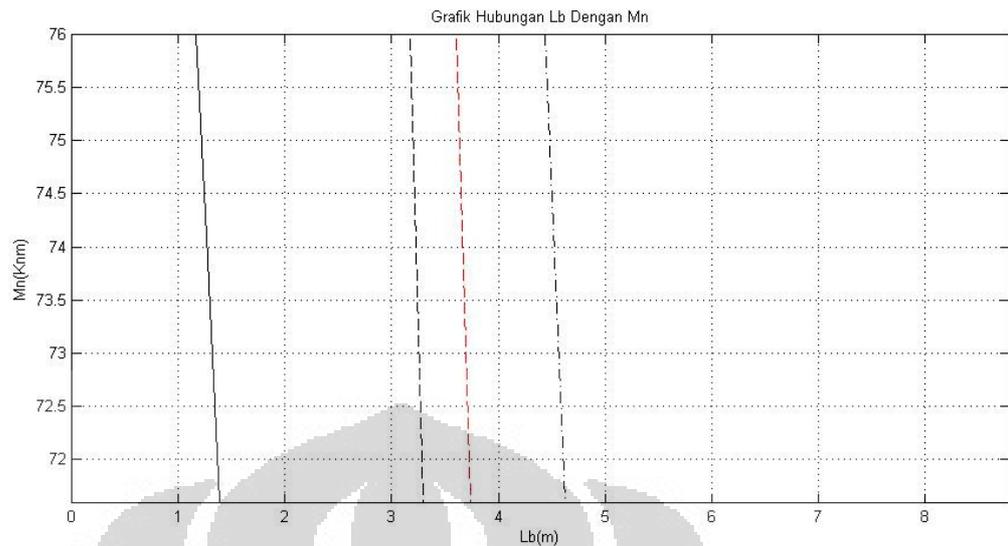


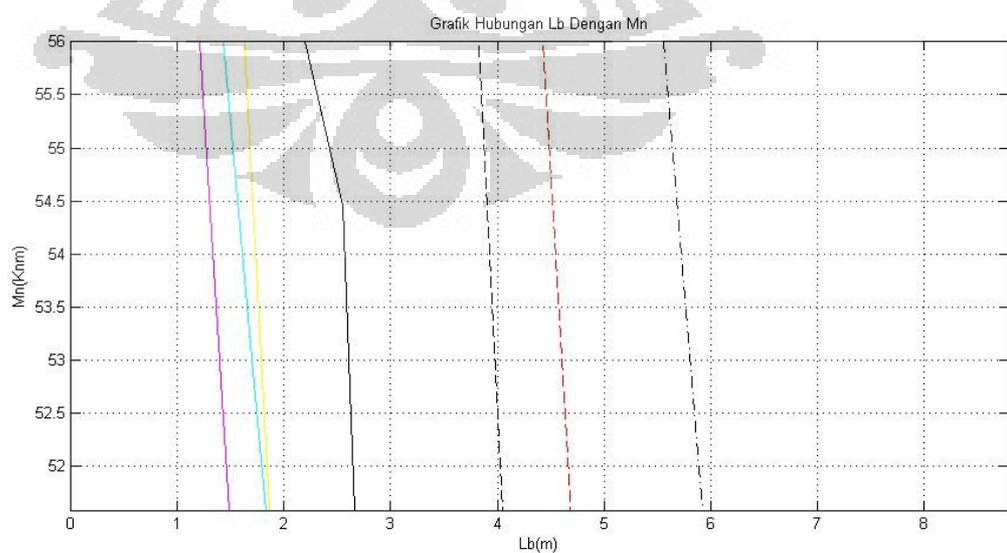
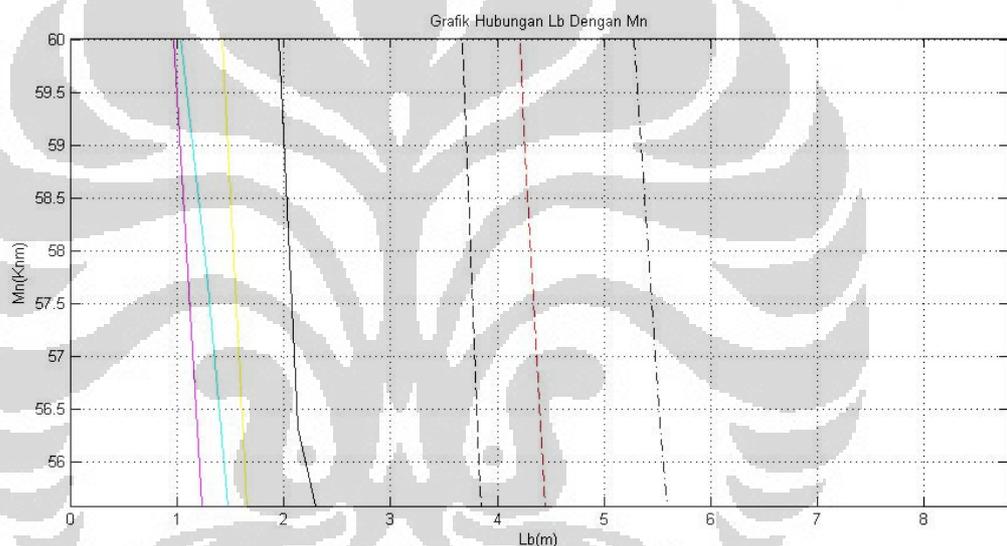
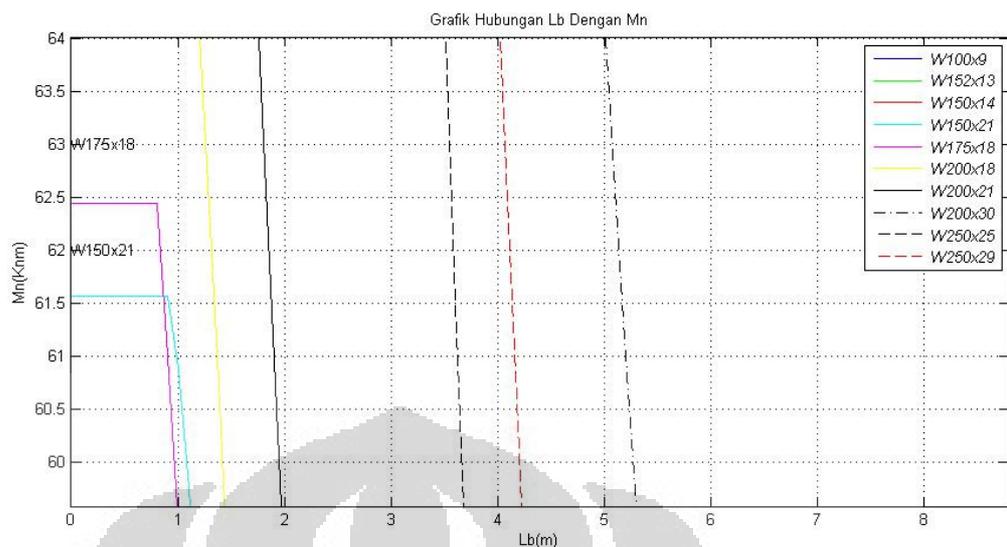


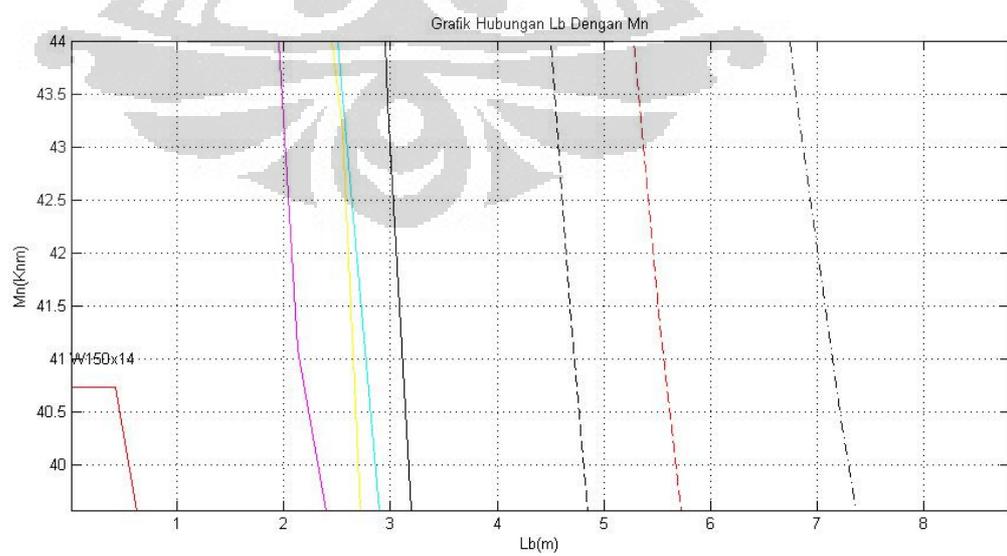
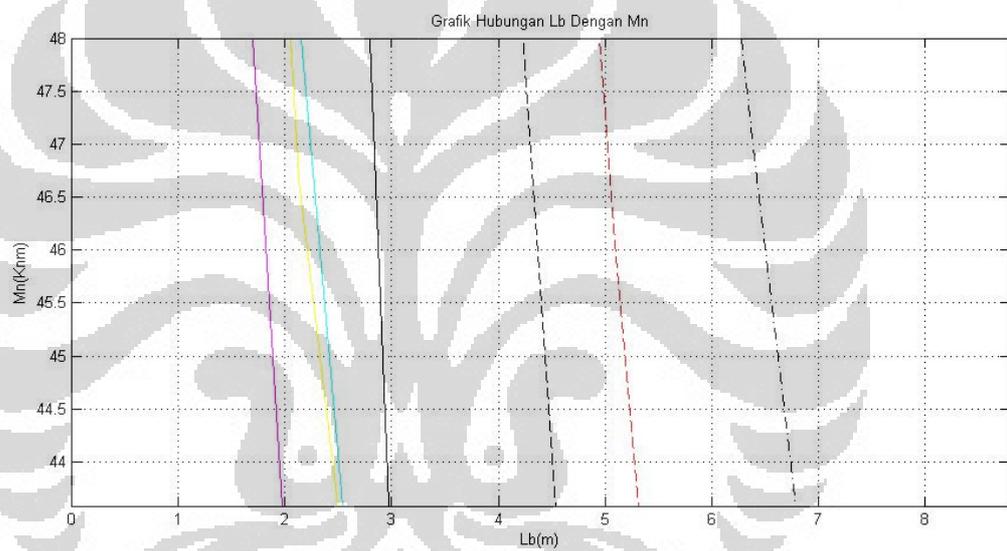
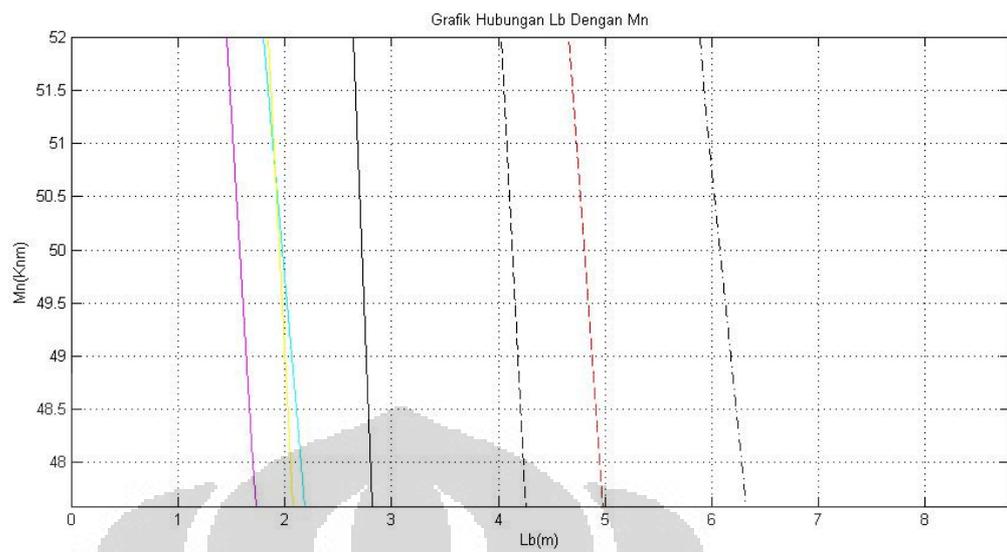


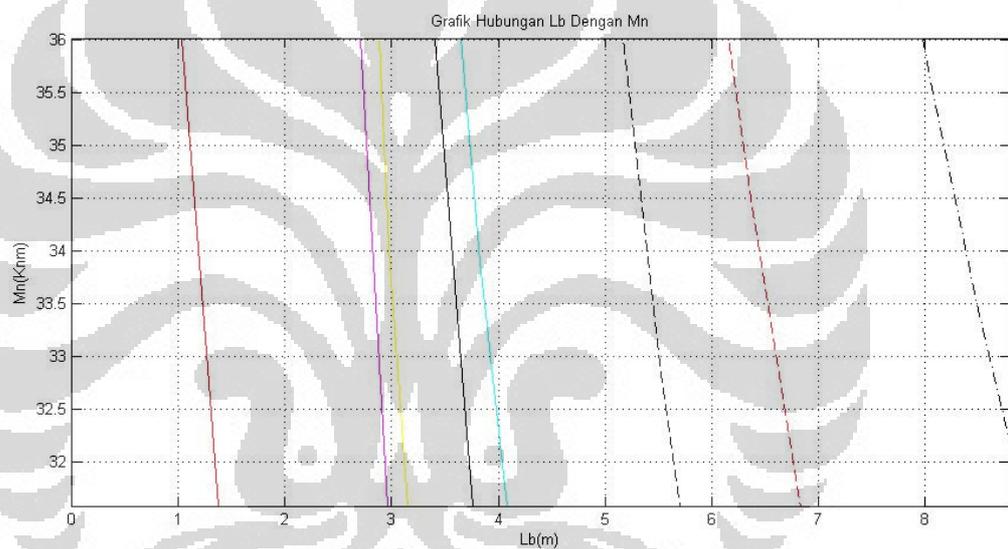
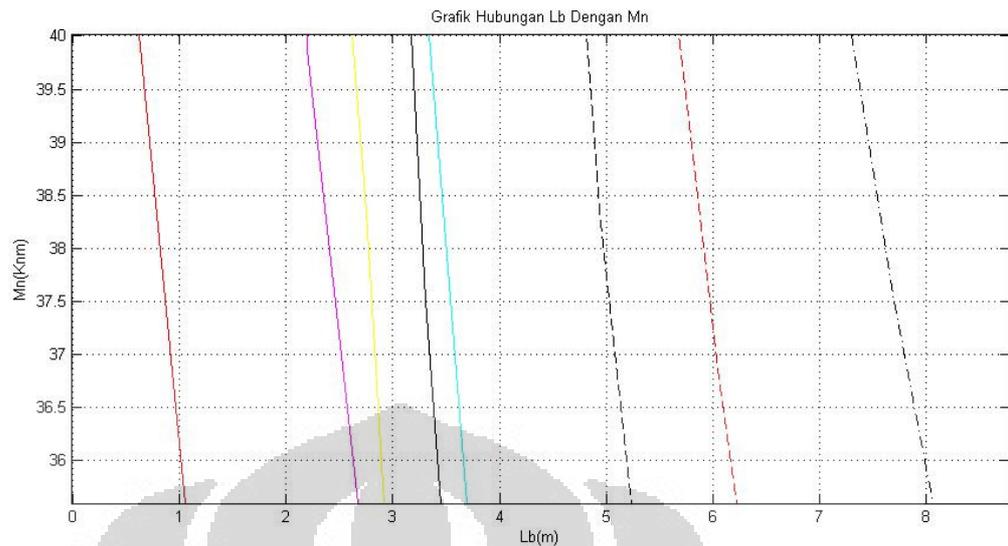


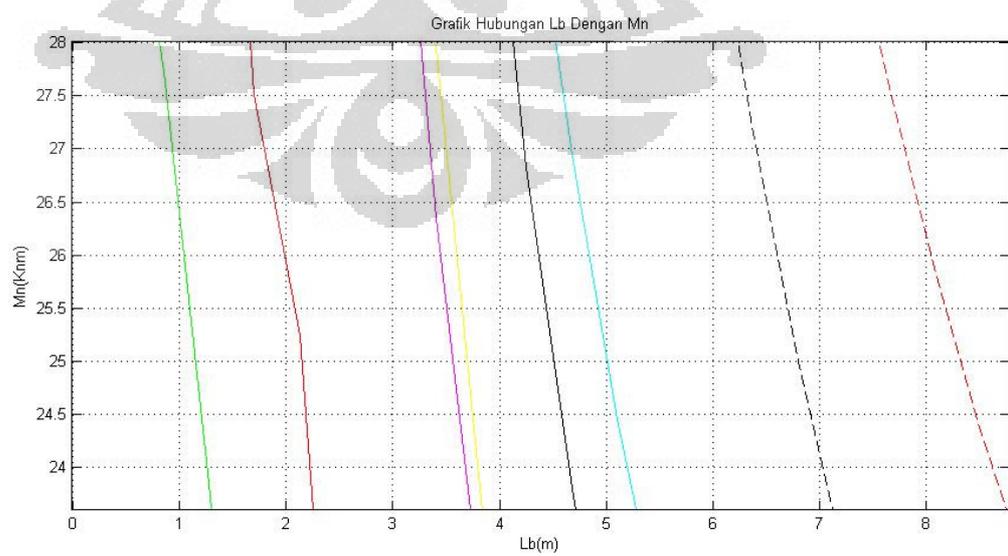
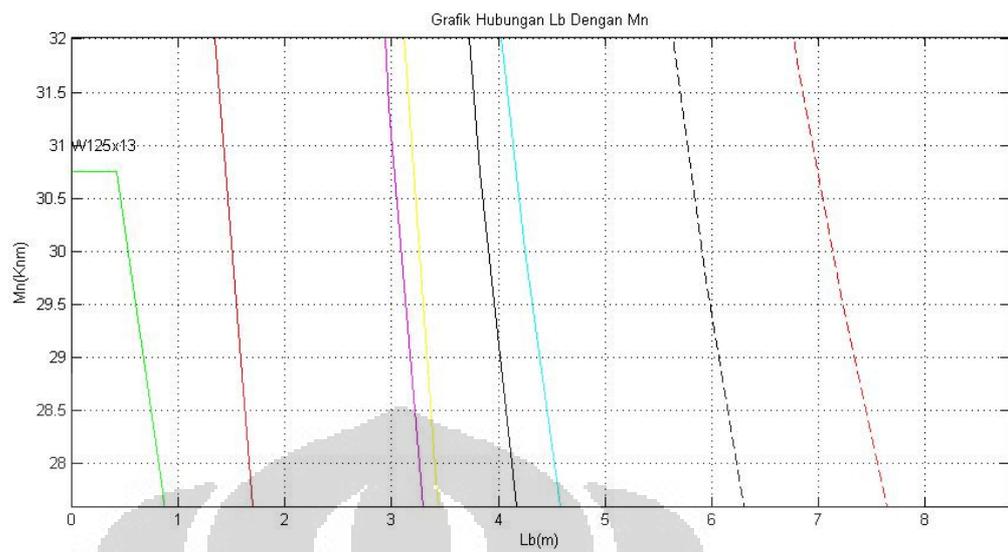


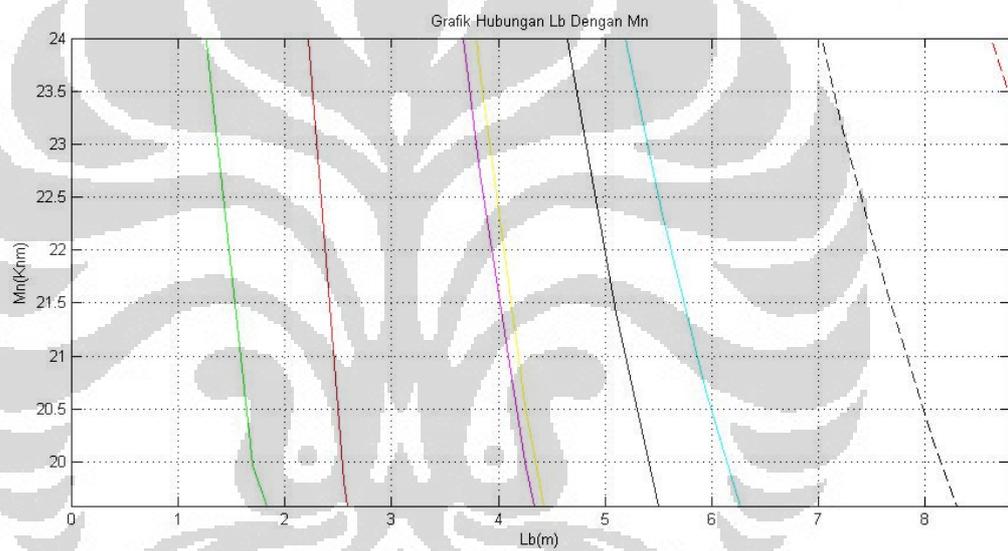
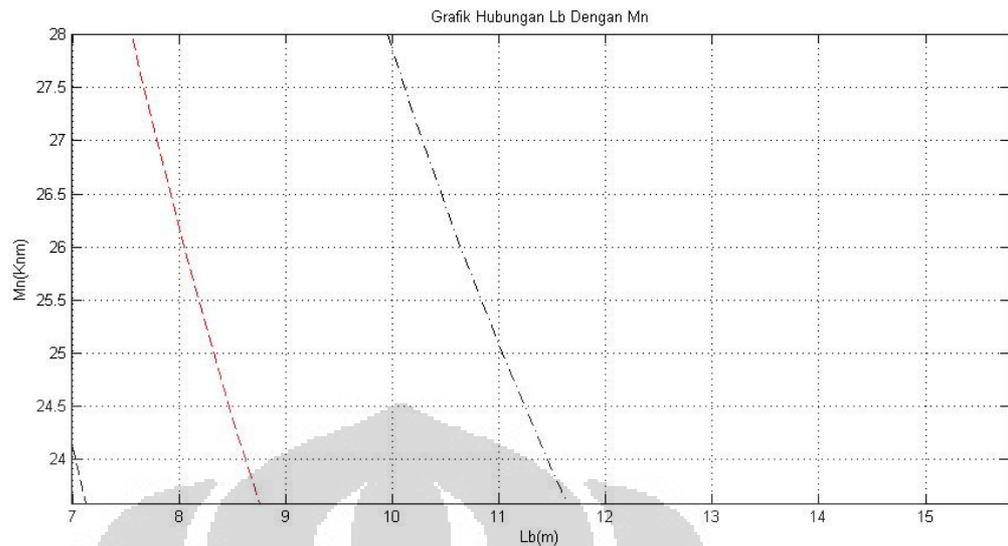


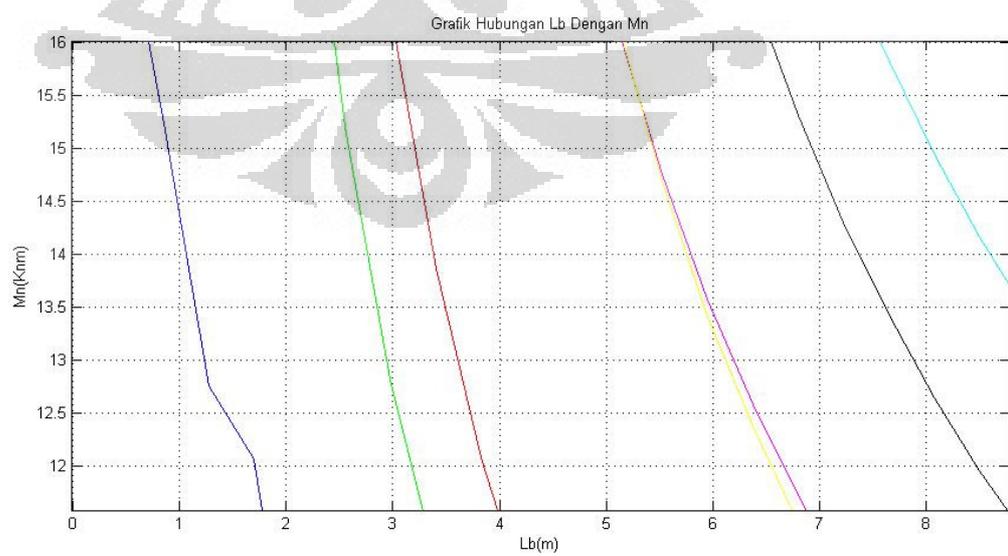
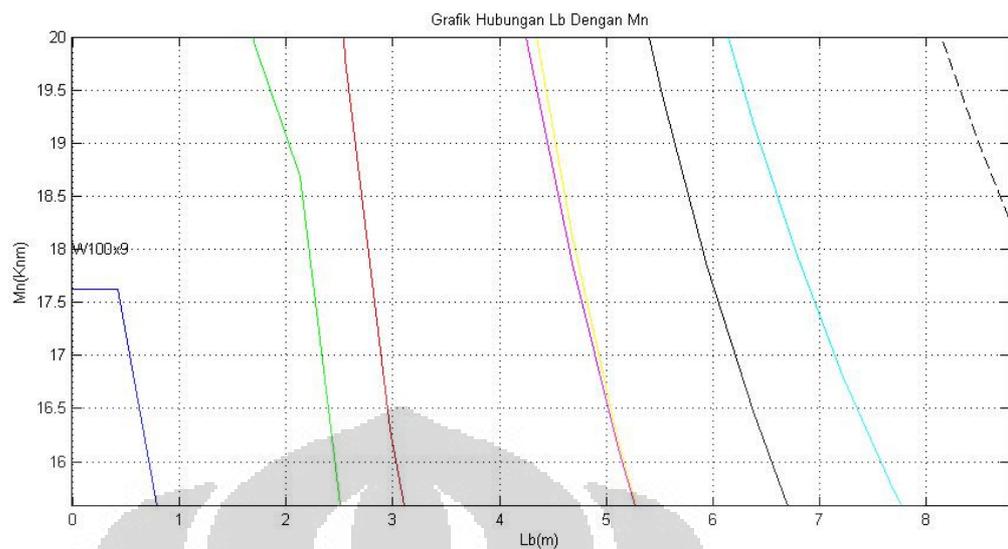


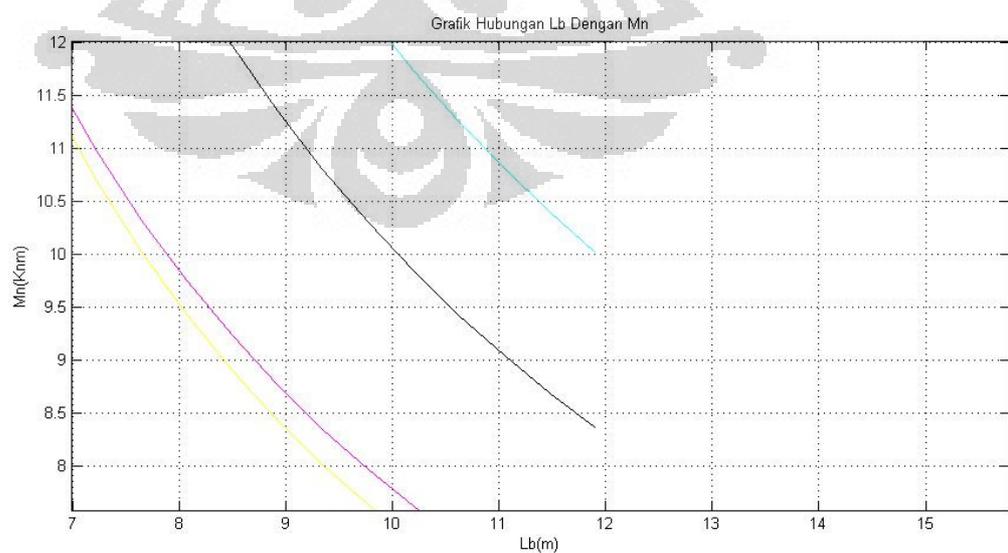
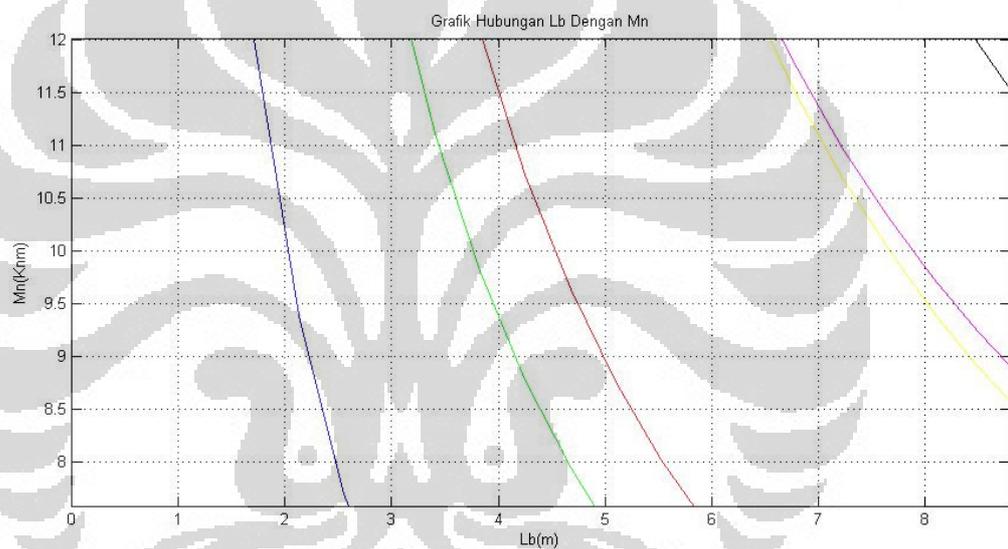
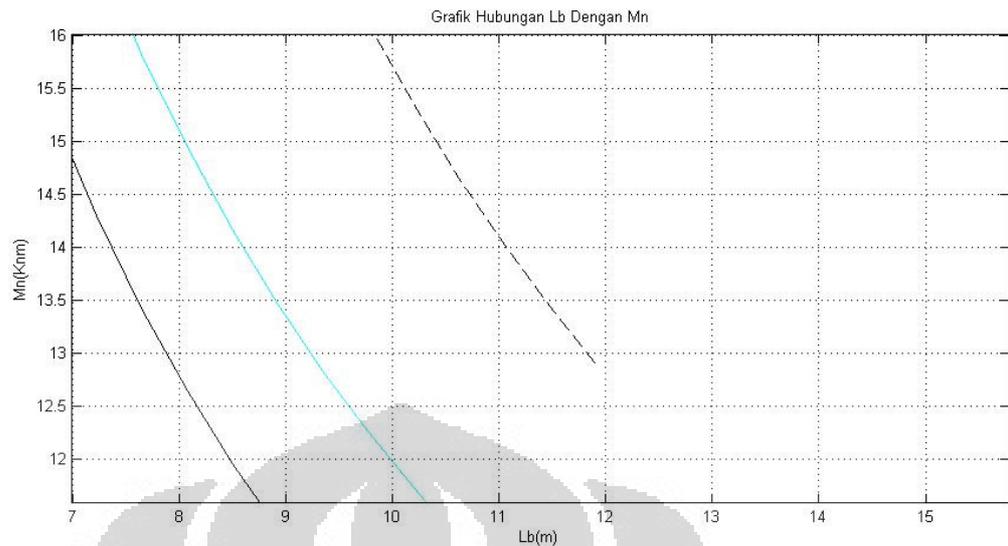


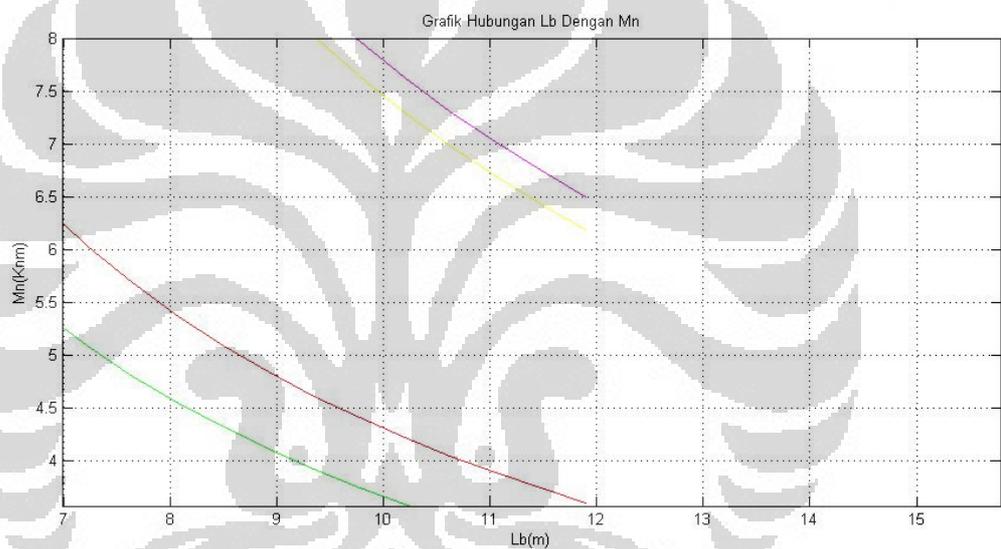
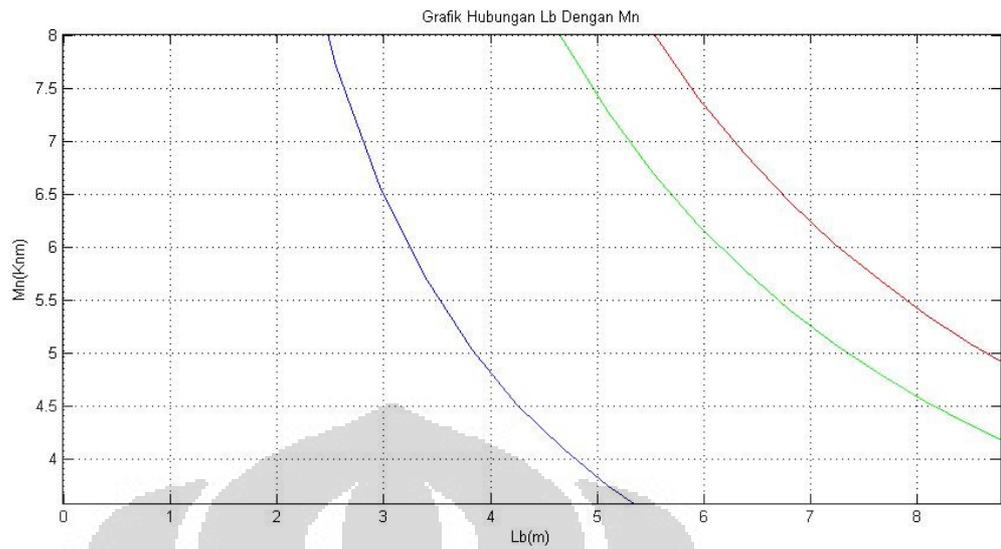


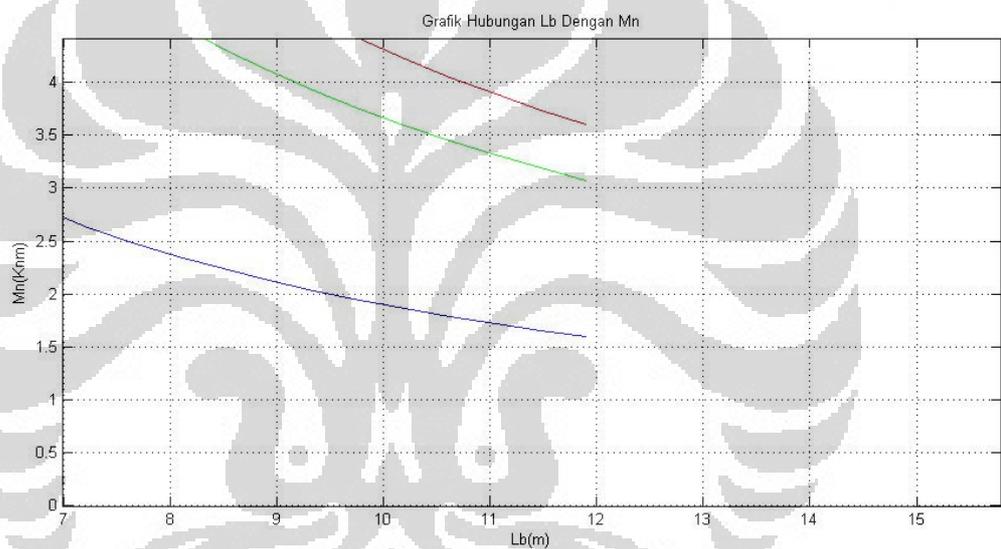
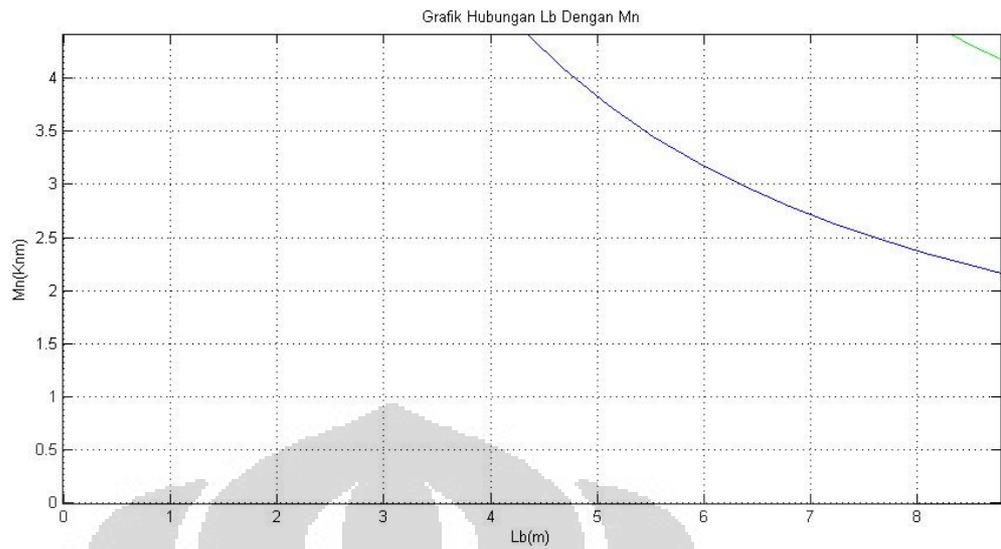




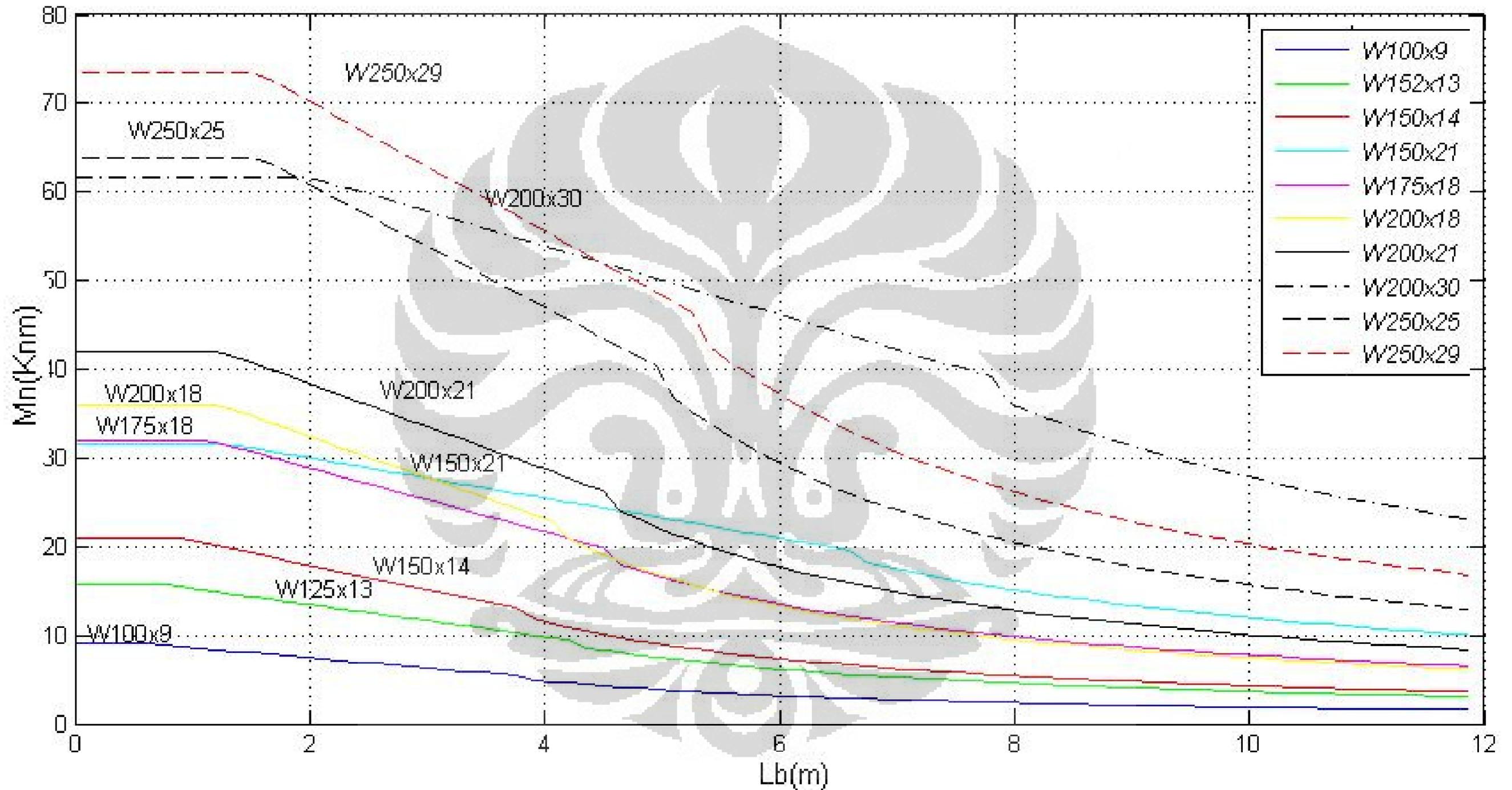






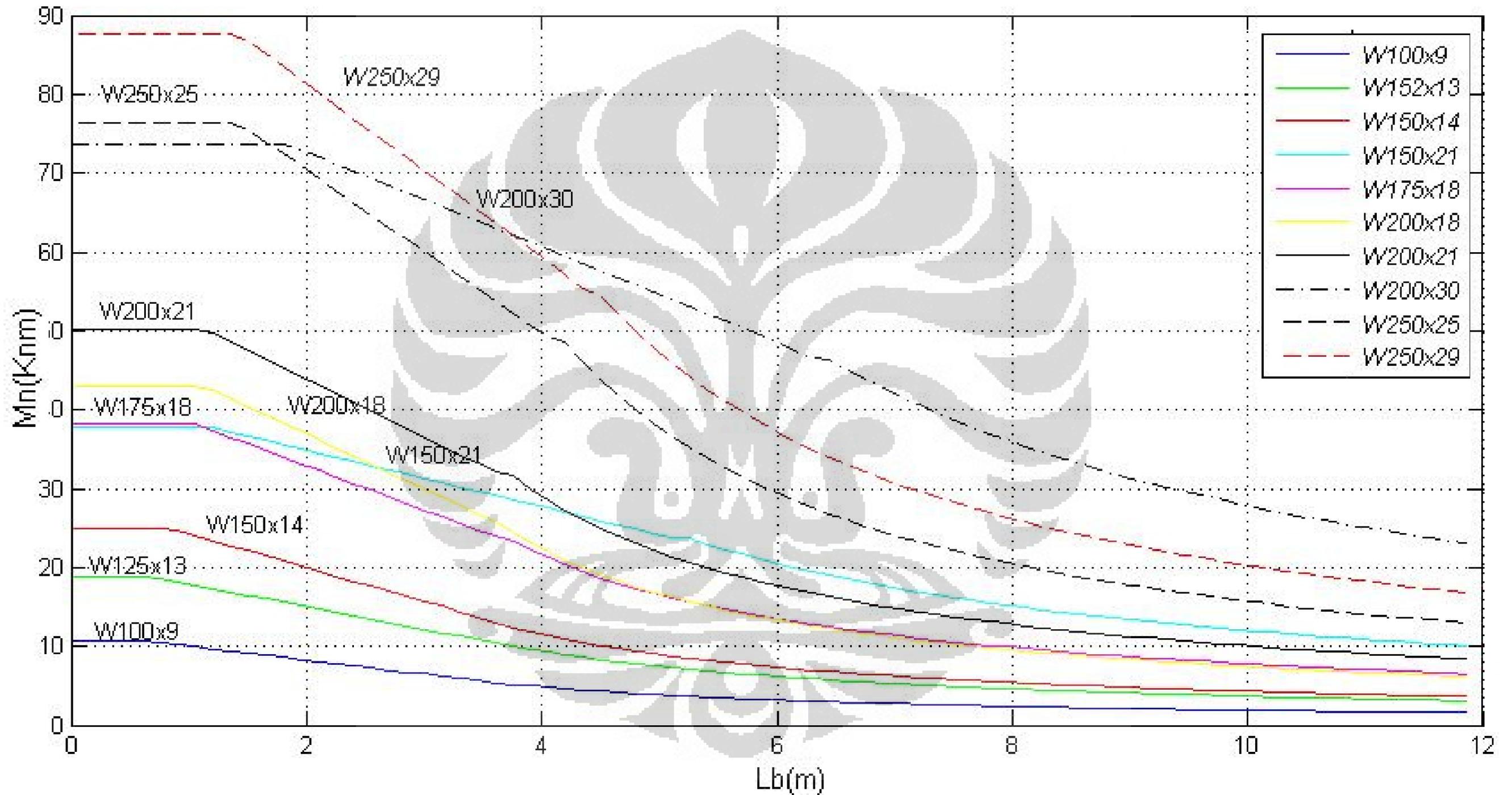


GRAFIK MOMEN NOMINAL PENAMPANG WF PT.KRAKATAU STEEL ($f_y = 205 \text{ Mpa}$)



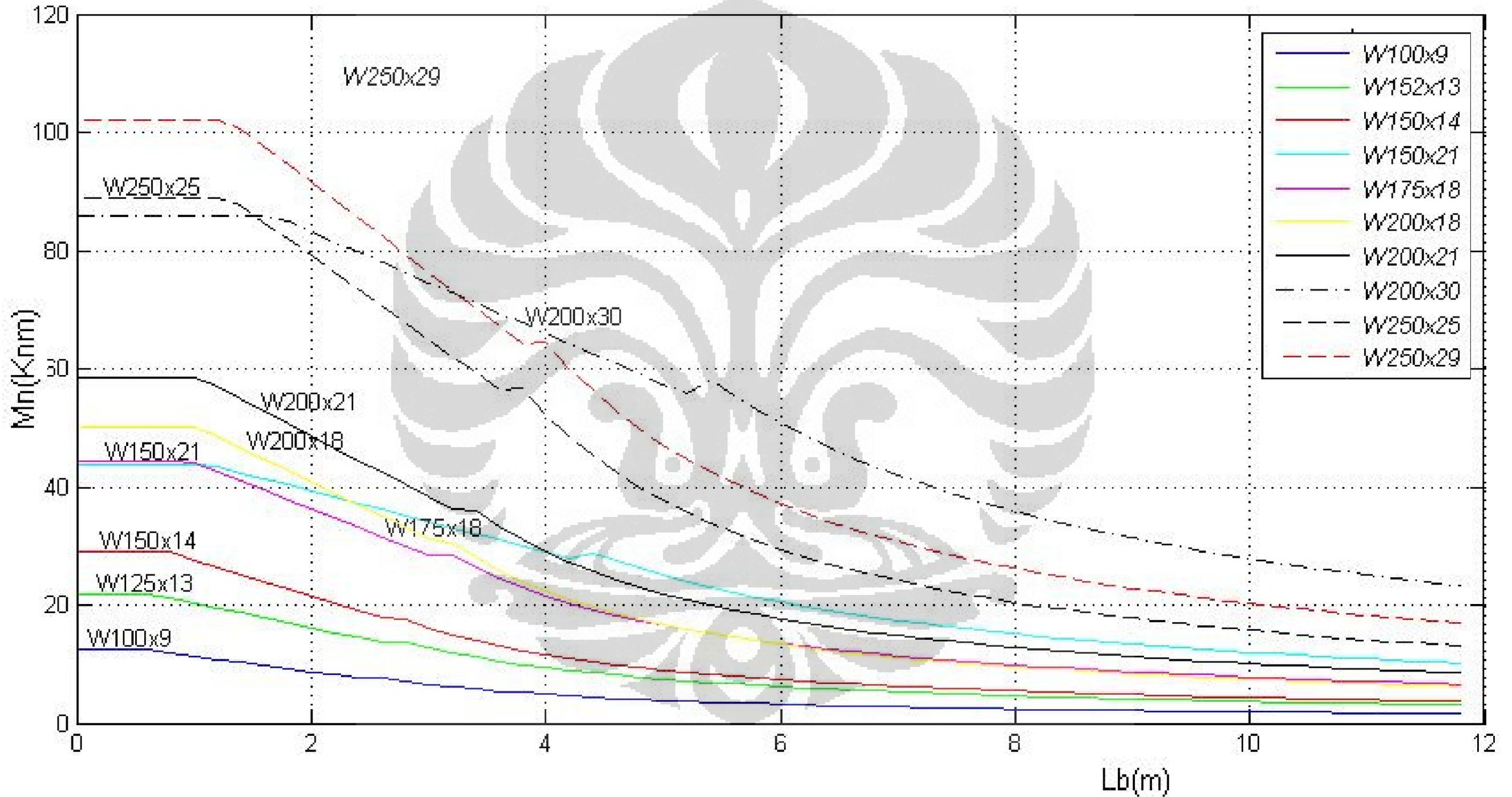
GRAFIK SECARA UMUM

GRAFIK MOMEN NOMINAL PENAMPANG WF PT.KRAKATAU STEEL ($f_y = 245 \text{ Mpa}$)



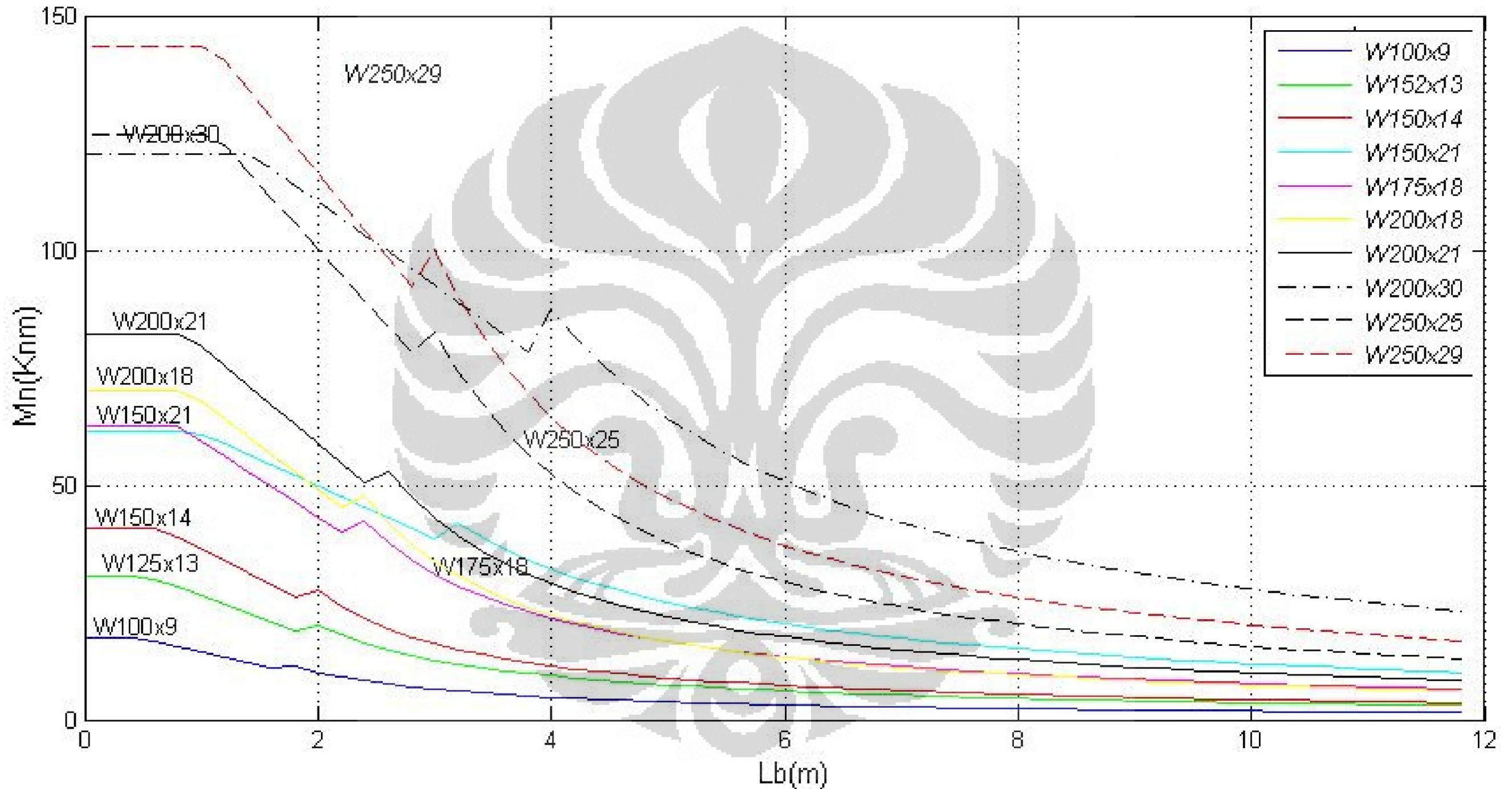
GRAFIK SECARA UMUM

GRAFIK MOMEN NOMINAL PENAMPANG WF PT.KRAKATAU STEEL ($f_y = 285 \text{ Mpa}$)



GRAFIK SECARA UMUM

GRAFIK MOMEN NOMINAL PENAMPANG WF PT.KRAKATAU STEEL ($f_y = 400$ Mpa)



GRAFIK SECARA UMUM