

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN TEGANGAN DAN DEFORMASI
PADA BALOK PROFIL IWF DENGAN BALOK PROFIL
KANAL GANDA DAN PROFIL SIKU TERSUSUN
(Studi Literatur)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

**MAWAR TIRANA
1607210135**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**



MSU
Cerdas | Terpercaya

menjawab surat ini agar disebutkan Nomor
tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 – EXT. 12

Website : <http://fatek.umsu.ac.id> Email : fatek@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Mawar Tirana
NPM : 1607210135
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Tegangan dan Deformasi Pada Balok Profil IWF dengan Balok Profil Kanal Ganda dan Profil Siku Tersusun (*Studi Literatur*)
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 19 November 2020

Dosen Pembimbing

Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

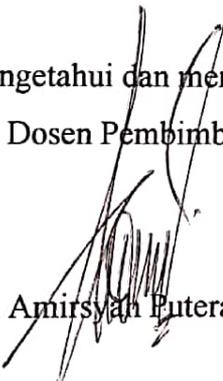
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Mawar Tirana
NPM : 1607210135
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Tegangan dan Deformasi pada Balok Profil IWF dengan Balok Profil Kanal Ganda dan Profil Siku Tersusun
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 19 November 2020

Mengetahui dan menyetujui:
Dosen Pembimbing


Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T

Dosen Pembanding I



Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembanding II



Sri Prafanti, S.T, M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Mawar Tirana
Tempat, Tanggal Lahir : Alue Dua, 13 Agustus 1998
NPM : 1607210135
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Perbandingan Tegangan dan Deformasi pada Balok Profil IWF dengan Balok Profil Kanal Ganda dan Profil Siku Tersusun”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena/hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjana saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun, demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 11 November 2020

Saya yang menyatakan,



Mawar Tirana

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN TEGANGAN DAN DEFORMASI BALOK PROFIL IWF DENGAN BALOK PROFIL KANAL GANDA DAN PROFIL SIKU TERSUSUN

Mawar Tirana

1607210135

Tondi Amirsyah Putera S.T, M.T

Suatu struktur terdiri dari beberapa elemen yang membentuknya diantaranya yaitu balok. Balok merupakan salah satu elemen struktur yang berfungsi menahan beban lentur. Suatu struktur dikatakan aman apabila struktur tersebut mampu memikul segala gaya, tegangan dan deformasi yang timbul akibat dari pembebanan yang bersifat sementara. Pada umumnya perencanaan struktur balok menggunakan profil IWF. Namun bagaimana jika suatu balok menggunakan profil yang tersusun. Pada penelitian ini, akan membandingkan balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun dengan variasi bentang 4m, 6m, 8m dan 10m pada tiap model balok yang bertujuan untuk membandingkan perilaku pada balok terhadap tegangan, deformasi dan rotasi akibat torsi yang terjadi. Dimensi balok IWF menjadi acuan terhadap perbandingan balok lainnya dengan momen inersia yang hampir sama. Analisis yang dilakukan menggunakan bantuan program analisis metode elemen hingga. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa pada beban yang sama, profil IWF memiliki tegangan maksimum terkecil sebesar 158,05 MPa sedangkan balok kanal ganda sebesar 164,50 MPa dan siku tersusun sebesar 171,25 MPa dan memiliki daktilitas yang tinggi sebesar 2,47 sedangkan kanal ganda sebesar 1,40 dan siku tersusun sebesar 1,47. Berdasarkan deformasi, profil kanal ganda memiliki nilai deformasi terkecil yaitu 1,756 mm sedangkan pada balok IWF sebesar 1,992 mm dan balok siku tersusun sebesar 2,037 mm. Namun balok IWF mempunyai kapasitas besar terhadap gaya yang dapat ditahan balok sehingga mampu berdeformasi lebih besar sebelum akhirnya mengalami kelelahan dan runtuh. Adapun perilaku torsi yang terjadi sangat berpengaruh terhadap rotasi pada setiap model balok. Variasi bentang yang berbeda juga sangat berpengaruh terhadap tegangan, deformasi dan rotasi yang terjadi pada balok.

Kata Kunci: Balok IWF, kanal ganda, siku tersusun, tegangan, deformasi

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF STRESS AND DEFORMATION OF IWF PROFILE BEAM WITH DOUBLE CANAL PROFILE BEAM AND CONSTRUCTED ELBOW PROFILE

Mawar Tirana

1607210135

Tondi Amirsyah Putera S.T, M.T

A structure consists of several elements that form it, namely beams. The beam is one of the structural elements that functions to withstand bending loads. A structure is said to be safe if the structure is able to withstand all forces, stresses and deformations that arise as a result of temporary loading. In general, beam structure planning uses IWF profiles. But what if a beam uses composed profiles. In this study, will compare IWF profile beams with double channel profile beams and elbows arranged with span variations of 4m, 6m, 8m and 10m in each beam model which aims to compare the behavior of the beam to stress, deformation and rotation due to torsion. The dimensions of the IWF beam become a reference for the comparison of other beams with almost the same moment of inertia. The analysis was carried out using the help of the finite element method analysis program. The analysis results show that at the same load, the IWF profile has the smallest maximum stress of 158,05 MPa, while the double channel beam is 164,50 MPa and the elbow is 171,25 MPa and has high ductility of 2,47 while the double channel is 1,40 and the elbow is 1,47. Based on the deformation, the double channel profile has the smallest deformation value, namely 1,756 mm, while the IWF beam is 1,992 mm and the elbow beam is 2,037 mm. However, the IWF beam has a large capacity against the force that the block can withstand so that it is able to deform more before it finally melts and collapses. The torsional behavior that occurs greatly affects the rotation of each beam model. The different span variations also greatly affect the stress, deformation and rotation that occurs in the beam.

Keywords: *IWF beam, double channel, arranged elbows, stress, deformation*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Perbandingan Tegangan Dan Deformasi Pada Balok Profil IWF dengan Balok Profil Kanal Ganda Dan Profil Siku Tersusun” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Penguji I sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan koreksi masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Sri Prafanti S.T, M.T, selaku Penguji II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ade Faisal S.T, MSc selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Hj. Irma Dewi S.T, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipilan kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Terima kasih yang teristimewa kepada kedua orang tua saya yaitu ayahanda Darmini Abdul Muis dan ibunda Siti Khadijah yang telah memberikan kasih sayang dan dukungan yang tidak ternilai kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Terima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2016 yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

Akhir kata saya ucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi temann-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 11 November 2020

Mawar Tirana

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Balok	5
2.2 Profil Baja	5
2.3 Konstruksi Baja Menggunakan Balok Profil IWF	7
2.4 Tegangan Pada Balok	8
2.5 Tegangan Von Mises	12
2.6 Tegangan-Regangan	13
2.7 Daktilitas	14
2.8 Deformasi pada Balok	15
2.9 Tekuk Torsi Lateral	17
2.10 Program Analisis Metode Elemen Hingga	18
2.11 Studi Literatur	20
BAB 3 METODOLOGI	22
3.1 Metodologi penelitian	22

3.2	Pengumpulan Data	23
3.3	Tahap Desain Data	23
3.3.1	Data Material	23
3.3.2	Profil Baja yang Digunakan	24
3.4	Perencanaan Struktur Gedung Menggunakan Program Analisis Struktur	26
3.4.1	Pemodelan Struktur Gedung	27
3.4.2	Beban Mati	28
3.4.3	Beban Hidup	29
3.4.4	Beban Gempa	29
3.4.5	Kombinasi Beban	29
3.5	Pemodelan Balok Menggunakan Program Analisis Metode Elemen Hingga	30
3.5.1	Definisi Material	31
3.5.2	Input Pemodelan Balok	32
3.5.3	Definisi <i>Contact</i>	33
3.5.4	<i>Meshing</i>	34
3.5.5	Pembebanan dan Tumpuan Balok	34
3.5.6	<i>Step Control</i> dan <i>Large Deflection</i>	36
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Hasil Analisis Tegangan Pada Balok	38
4.1.1	Analisis Tegangan Linear	38
4.1.1.1	Balok IWF	38
4.1.1.2	Balok Kanal Ganda	40
4.1.1.3	Balok Siku Tersusun	41
4.1.1.4	Perbandingan Hasil Analisis Tegangan Linear pada Balok	43
4.1.2	Analisis Tegangan Non-Linear	44
4.1.2.1	Balok IWF	44
4.1.2.2	Balok Kanal Ganda	49
4.1.2.3	Balok Siku Tersusun	53

4.1.2.4 Perbandingan Analisis Tegangan Non-Linear terhadap Model	57
4.1.2.5 Perbandingan Analisis Tegangan Non-Linear terhadap Bentang	60
4.2 Hasil Analisis Deformasi pada Balok	62
4.2.1 Analisis Deformasi Linear pada Balok	62
4.2.1.1 Perbandingan Analisis Deformasi Linear	64
4.2.2 Analisis Deformasi Non-Linear	65
4.2.2.1 Perbandingan Analisis Deformasi Non-Linear terhadap Model	66
4.2.2.2 Perbandingan Analisis Deformasi Non-Linear terhadap Bentang	69
4.3 Hasil Analisis Rotasi Akibat Torsi pada Balok	71
4.3.1 Perbandingan Analisis Rotasi pada Balok	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN 1 BEBAN GEMPA	
LAMPIRAN 2 TABEL TEGANGAN-REGANGAN BALOK	
LAMPIRAN 3 TABEL DEFORMASI NON-LINEAR BALOK	
RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1:	Properti material baja	23
Tabel 3.2:	<i>Section properties</i> profil IWF	24
Tabel 3.3:	<i>Section properties</i> profil kanal ganda	25
Tabel 3.4:	<i>Section properties</i> profil siku tersusun	26
Tabel 3.5:	Beban tributary pada balok	30
Tabel 3.6:	Beban kombinasi pada balok	30
Tabel 3.7:	Pembebanan yang diinput kedalam program analisis metode elemen hingga	35
Tabel 3.8:	Nilai torsi yang diperoleh dari hasil program analisis struktur	36
Tabel 4.1:	Perbandingan tegangan linear pada balok	43
Tabel 4.2:	Nilai deformasi pada tiap model balok	64
Tabel 4.3:	Nilai rotasi pada tiap model balok	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1:	Profil baja	6
Gambar 2.2:	Rangka portal menggunakan balok profil IWF	7
Gambar 2.3:	Sifat balok dalam lentur	8
Gambar 2.3:	Regangan pada penampang balok	9
Gambar 2.4:	Distribusi tegangan akibat lentur	10
Gambar 2.5:	Tegangan pada lentur murni	10
Gambar 2.6:	Grafik tegangan-regangan baja	14
Gambar 2.7:	Deformasi balok dengan beban merata sepanjang bentang	15
Gambar 3.1:	Bagan alir penelitian	22
Gambar 3.2:	Profil IWF 500x300	24
Gambar 3.3:	Profil kanal ganda	25
Gambar 3.4:	Profil siku tersusun	26
Gambar 3.5:	Tampilan 3d struktur portal gedung	27
Gambar 3.6:	Input material BJ-41 pada program analisis metode elemen hingga	31
Gambar 3.7:	Grafik <i>bilinier isotropic hardening</i>	31
Gambar 3.8:	Pemodelan Balok IWF	32
Gambar 3.9:	Pemodelan balok kanal ganda	32
Gambar 3.10:	Pemodelan balok siku tersusun	32
Gambar 3.11:	Input pemodelan balok ke program analisis metode elemen hingga	33
Gambar 3.12:	Mengatur <i>contact</i> pada balok	33
Gambar 3.13:	Generate mesh pada model balok	34
Gambar 3.14:	<i>Meshing</i> pada balok IWF	34
Gambar 3.15:	Tumpuan jepit pada kedua ujung balok IWF dan beban yang diberikan pada balok	35
Gambar 3.16:	Tumpuan jepit pada ujung balok IWF dan torsi yang diberikan diujung balok	36
Gambar 3.17:	Pengaturan <i>time step</i> dan <i>large deflection</i>	37
Gambar 4.1:	Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 4m	38

Gambar 4.2:	Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 6m	39
Gambar 4.3:	Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 8m	39
Gambar 4.4:	Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 10m	39
Gambar 4.5:	Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 4m	40
Gambar 4.6:	Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 6m	40
Gambar 4.7:	Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 8m	41
Gambar 4.8:	Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 10m	41
Gambar 4.9:	Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 4m	42
Gambar 4.10:	Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 6m	42
Gambar 4.11:	Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 8m	42
Gambar 4.12:	Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 10m	43
Gambar 4.13:	Diagram perbandingan hasil analisis tegangan linear pada balok	44
Gambar 4.14:	Tegangan Non-Linear pada balok IWF bentang 4m	45
Gambar 4.15:	Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 4m	45
Gambar 4.16:	Tegangan Non-Linear pada balok IWF bentang 6m	46
Gambar 4.17:	Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 6m	46
Gambar 4.18:	Tegangan Non-Linear pada balok IWF bentang 8m	47
Gambar 4.19:	Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 8m	47
Gambar 4.20:	Tegangan Non-Linear pada balok IWF bentang 10m	48
Gambar 4.21:	Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 10m	48
Gambar 4.22:	Tegangan Non-Linear pada balok kanal ganda bentang 4m	49
Gambar 4.23:	Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 4m	49
Gambar 4.24:	Tegangan Non-Linear pada balok kanal ganda bentang 6m	50
Gambar 4.25:	Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 6m	50

Gambar 4.26:	Tegangan Non-Linear pada balok kanal ganda bentang 8m	51
Gambar 4.27:	Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 8m	51
Gambar 4.28:	Tegangan Non-Linear pada balok kanal ganda bentang 10m	52
Gambar 4.29:	Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 10m	52
Gambar 4.30:	Tegangan Non-Linear pada balok siku tersusun bentang 4m	53
Gambar 4.31:	Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 4m	53
Gambar 4.32:	Tegangan Non-Linear pada balok siku tersusun bentang 6m	54
Gambar 4.33:	Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 6m	54
Gambar 4.34:	Tegangan Non-Linear pada balok siku tersusun bentang 8m	55
Gambar 4.35:	Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 8m	55
Gambar 4.36:	Tegangan Non-Linear pada balok siku tersusun bentang 10m	56
Gambar 4.37:	Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 10m	56
Gambar 4.38:	Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 4m	57
Gambar 4.39:	Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 6m	58
Gambar 4.40:	Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 8m	58
Gambar 4.41:	Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 10m	59
Gambar 4.42:	Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok IWF	60

Gambar 4.43:	Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok kanal ganda	61
Gambar 4.44:	Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok siku tersusun	62
Gambar 4.45:	Deformasi pada balok IWF bentang 4m	63
Gambar 4.46:	Deformasi pada balok kanal ganda bentang 4m	63
Gambar 4.47:	Deformasi pada balok siku tersusun bentang 4m	63
Gambar 4.48:	Diagram perbandingan deformasi pada balok	64
Gambar 4.49:	Deformasi non-linear pada balok IWF bentang 4m	65
Gambar 4.50:	Deformasi non-linear pada balok kanal ganda bentang 4m	65
Gambar 4.51:	Deformasi non-linear pada balok siku tersusun bentang 4m	66
Gambar 4.52:	Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 4m	66
Gambar 4.53:	Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 6m	67
Gambar 4.54:	Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 8m	68
Gambar 4.55:	Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 10m	68
Gambar 4.56:	Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok IWF	69
Gambar 4.57:	Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok kanal ganda.	70
Gambar 4.58:	Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok siku tersusun	71
Gambar 4.59:	Rotasi pada balok IWF bentang 4m	72
Gambar 4.60:	Rotasi pada balok kanal ganda bentang 4m	72
Gambar 4.61:	Rotasi pada balok siku tersusun bentang 4m	72
Gambar 4.62:	Diagram perbandingan rotasi pada balok	74

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

A	= Luas penampang balok
B	= Lebar penampang balok
D	= Beban mati
E	= Modulus elastisitas (MPa)
F _b	= Tegangan ijin lentur
F _u	= Kuat tarik ultimate baja
F _y	= Kuat leleh baja
G	= Modulus elastisitas geser
H	= Tinggi penampang balok
I _x	= Momen inersia terhadap sumbu x (mm ⁴)
I _y	= Momen inersia terhadap sumbu y (mm ⁴)
I _e	= Faktor keutamaan gempa
KDS	= Kategori desain seismik
L	= Beban hidup
M	= Momen (KN.m)
P/P _u	= Gaya aksial (KN)
r _x	= Jari-jari girasi arah x
r _y	= Jari-jari girasi arah y
S ₁	= Percepatan gempa untuk periode 1 detik
S _{DS}	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek
S _{D1}	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik
S.F	= <i>Safety factor</i>
S _{MS}	= Parameter respon spektral percepatan pada periode pendek
S _{M1}	= Parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik
S _s	= Percepatan gempa untuk periode pendek
S _x	= Modulus penampang terhadap sumbu x
S _y	= Modulus penampang terhadap sumbu y
T	= Periode
T	= Torsi (kN.m)
T _L	= Periode panjang transisi

u	= Angka poisson
W	= Beban Merata
Y	= Jarak tegangan yang ditinjau ke garis netral
Δ	= Deformasi (mm)
Δ_{\max}	= Deformasi maksimum
Δ_{\min}	= Deformasi minimum
Δ_u	= Perpindahan maksimum
Δ_y	= Perpindahan leleh
ε	= Regangan
ε_u	= Regangan maksimum
ε_y	= Regangan leleh
θ	= Koefisien stabilitas
θ_s	= Rotasi saat terjadi beban layan (rad)
φ_u	= Sudut kelengkungan maksimum
φ_y	= Sudut kelengkungan leleh
ϕ	= Rotasi (rad)
σ	= Tegangan (MPa)
σ_{\max}	= Tegangan maksimum (MPa)
σ'	= Tegangan <i>Von Mises</i>
σ_1	= Tegangan pada arah 1/arah sumbu x
σ_2	= Tegangan pada arah 2/arah sumbu y
σ_3	= Tegangan pada arah 3/arah sumbu z
μ_ε	= Daktilitas regangan
μ_φ	= Daktilitas kelengkungan
μ_Δ	= Daktilitas perpindahan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin meningkatnya pertumbuhan dan perkembangan perekonomian Indonesia di era globalisasi seperti sekarang ini, membuat meningkatnya pembangunan gedung dan prasarana lainnya yang dapat menunjang pengembangan usaha perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang perusahaan salah satunya adalah perkantoran.

Suatu struktur terdiri dari beberapa elemen yang membentuknya, yaitu antara lain balok dan kolom. Balok merupakan salah satu elemen struktur yang berfungsi menahan beban lentur dan beban geser. Balok dapat dibuat menggunakan berbagai material, salah satunya adalah profil baja. Penggunaan material baja sebagai struktur dalam suatu konstruksi sudah banyak dilakukan.

Umumnya baja digunakan karena lebih mudah pengerjaannya dalam pembangunan dibandingkan dengan material lain. Sifat-sifatnya yang terutama dalam penggunaan konstruksi adalah kekuatannya yang tinggi dan ketiutannya. Ketiutan (ductility) adalah kemampuan baja untuk berdeformasi sebelum baja putus. Kemampuan baja yang cukup besar untuk menahan kekuatan tarik dan tekan, serta baja juga mempunyai perbandingan kekuatan tiap volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan lain yang umumnya dipakai.

Suatu struktur dikatakan kuat atau aman apabila struktur tersebut mampu memikul segala gaya, tegangan dan juga lendutan yang mungkin timbul akibat dari pembebanan yang bersifat sementara. Baja berdeformasi secara nyata dapat dilihat pada konstruksi portal sederhana. Portal terdiri dari elemen-elemen pelat, kolom, dan balok sehingga dalam perencanaan, faktor yang harus mendapat perhatian utama adalah masalah kekuatan atau keamanan, masalah keekonomisan dan masalah estetika dari struktur yang direncanakan. Beban yang bekerja pada balok menghasilkan momen dan geser sehingga beban yang bekerja pada struktur menyebabkan struktur berdeformasi. Deformasi akan bersifat elastis jika tegangan yang bekerja masih dalam batas elastis. Setelah batas elastis material terlewati

maka akan menyebabkan struktur mengalami deformasi plastis (inelastis deformation) dan kelelahan akan mulai terbentuk pada sebagian penampang.

Perencanaan struktur balok umumnya direncanakan dengan menggunakan profil IWF namun bagaimana jika struktur balok direncanakan dengan profil tersusun. Sehingga penelitian ini akan membandingkan balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun dengan variasi bentang 4m, 6m, 8m dan 10m pada tiap model balok yang bertujuan untuk membandingkan perilaku pada balok terhadap tegangan, deformasi dan rotasi akibat torsi yang terjadi untuk dapat mengetahui profil yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan tegangan maksimum yang terjadi pada balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun?
2. Bagaimana pengaruh tegangan-regangan terhadap daktilitas pada balok dengan model yang berbeda dan variasi bentangnya?
3. Bagaimana perbandingan deformasi yang terjadi pada balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun?
4. Bagaimana hubungan beban dengan deformasi yang terjadi pada balok terhadap model yang berbeda dan variasi bentangnya?
5. Bagaimana rotasi yang terjadi akibat adanya torsi pada balok?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan tegangan yang terjadi pada balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun.
2. Mengetahui pengaruh tegangan-regangan terhadap daktilitas pada balok profil IWF, balok kanal ganda dan siku tersusun.
3. Mengetahui perbandingan deformasi yang terjadi pada balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun.

4. Mengetahui hubungan beban dengan deformasi yang terjadi pada balok terhadap model yang berbeda dan variasi bentangnya.
5. Mengetahui rotasi yang terjadi akibat adanya torsi pada balok.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah dapat memberikan informasi dalam perhitungan tegangan, deformasi dan rotasi yang terjadi pada struktur balok baja dan memperoleh penggunaan profil baja yang lebih baik pada struktur balok dalam segi tegangan dan deformasi.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Perbandingan dilakukan pada profil baja sebagai komponen balok.
2. Digunakan baja dengan bentuk profil IWF, profil kanal ganda dan profil siku tersusun.
3. Digunakan pemodelan struktur balok dengan bentang 4m, 6m, 8m dan 10m untuk setiap profil yang berbeda.
4. Pemodelan dengan profil yang berbeda memiliki momen inersia yang hampir sama.
5. Sambungan dianggap kaku sempurna.
6. Perencanaan balok tidak menggunakan pengaku.
7. Perencanaan menggunakan mutu baja BJ-41.
8. Perhitungan dan pemodelan analisa struktur menggunakan bantuan program analisis astruktur metode elemen hingga.
9. Pemodelan balok menggunakan tumpuan jepit-jepit dan beban merata.
10. Pembebanan pada analisis linear menggunakan beban kombinasi dan analisis non-linear menggunakan beban monotonik hingga 4000 kN.
11. Perencanaan mengikuti aturan SNI 1729-2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, Badan Standarisasi Nasional.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar penulisan akhir ini terstruktur dan jelas, maka tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang dasar teori dan peraturan yang mendukung dalam perencanaan struktur sehingga bisa dipertanggung jawabkan kebenarannya.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang langkah-langkah kerja yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil dan pembahasan analisis yang dilakukan untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan permasalahan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang di dapat dari hasil dan menjawab permasalahan yang sesuai serta saran untuk pengembangan lebih lanjut di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balok

Balok merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Fungsinya adalah sebagai rangka penguat horizontal bangunan akan beban-beban. Balok menerima beban yang arahnya tegak lurus dengan sumbu memanjang batangnya, hal tersebutlah yang menyebabkan balok melentur.

Pada sistem struktural bangunan gedung, elemen balok merupakan paling banyak digunakan dengan pola berulang dalam susunan hirarki balok. Susunan hirarki ini terdiri atas susunan satu tingkat, dua tingkat, dan susunan tiga tingkat sebagai batas maksimum. Tegangan aktual yang timbul pada elemen struktur balok tergantung pada besar dan distribusi material pada penampang melintang balok tersebut. Semakin besar ukuran balok, semakin kecil tegangan yang terjadi.

Apabila suatu gelagar balok bentangan sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Regangan-regangan balok tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik dibagian bawah. Agar stabilitas terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut karena tegangan baja dipasang di daerah tegangan tarik bekerja, di dekat serat terbawah, maka secara teoritis balok disebut sebagai bertulangan baja tarik saja (Wigroho & Alfarado, 2017).

2.2 Profil Baja

Profil baja struktural yang tersedia di pasaran terdiri dari banyak jenis dan bentuk. Semua bentuk profil tersebut mempunyai kelebihan dan kelemahan masing-masing. Beberapa jenis profil baja menurut ASTM bagian I diantaranya adalah profil IWF, O, C, profil siku (L), tiang tumpu (HP), dan profil T structural.

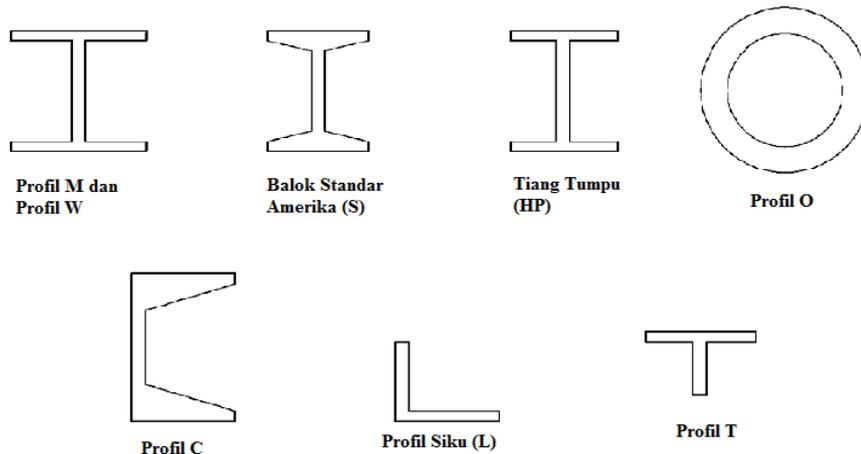
Profil IWF terutama digunakan sebagai elemen struktur balok dan kolom. Semakin tinggi profil ini, maka semakin ekonomis untuk banyak aplikasi profil I mempunyai penampang melintang yang pada dasarnya sama dengan profil W, dan juga memiliki aplikasi yang sama.

Profil S adalah balok standar Amerika. Profil ini memiliki bidang flens yang miring, dan web yang relatif lebih tebal. Profil ini jarang di gunakan dalam konstruksi, tetapi masih digunakan terutama untuk beban terpusat yang sangat besar pada bagian flens.

Profil HP adalah profil jenis penumpu (bearing type shape) yang mempunyai karakteristik penampang agak bujur sangkar dengan flens dan web yang hampir sama tebalnya. Biasanya digunakan sebagai fondasi tiang pancang. Bisa juga digunakan sebagai balok dan kolom, tetapi umumnya kurang efisien.

Profil C atau kanal mempunyai karakteristik flens pendek, yang mempunyai kemiringan permukaan dalam sekitar 1:6. Biasanya diaplikasikan sebagai penampang tersusun, bracing tie, ataupun elemen dari bukaan rangka (frame opening).

Profil siku atau profil L adalah profil yang sangat cocok untuk digunakan sebagai bracing dan batang tarik. Profil ini biasanya digunakan secara gabungan, yang lebih di kenal sebagai profil siku ganda. Profil ini sangat baik untuk digunakan pada struktur truss.



Gambar 2.1: Profil baja.

2.3 Konstruksi Baja Menggunakan Balok Profil IWF

Saat ini, teknologi sangat berperan besar untuk mempermudah proses yang dilakukan pada suatu proyek konstruksi. Material konstruksi yang paling populer saat ini adalah baja, material ini merupakan komponen utama dari bangunan-bangunan di dunia, khususnya bangunan tinggi.

Suatu konstruksi gedung terdiri dari balok dan kolom. Pada umumnya, dalam perencanaan konstruksi gedung lebih sering menggunakan profil baja IWF sebagai balok. Profil *Wide Flange* adalah profil berpenampang H atau I dengan sumbu simetri ganda, yang dihasilkan dari proses canai panas (*Hot rolling mill*) atau profil tersusun buatan. Berikut penggunaan balok profil IWF pada konstruksi gedung di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



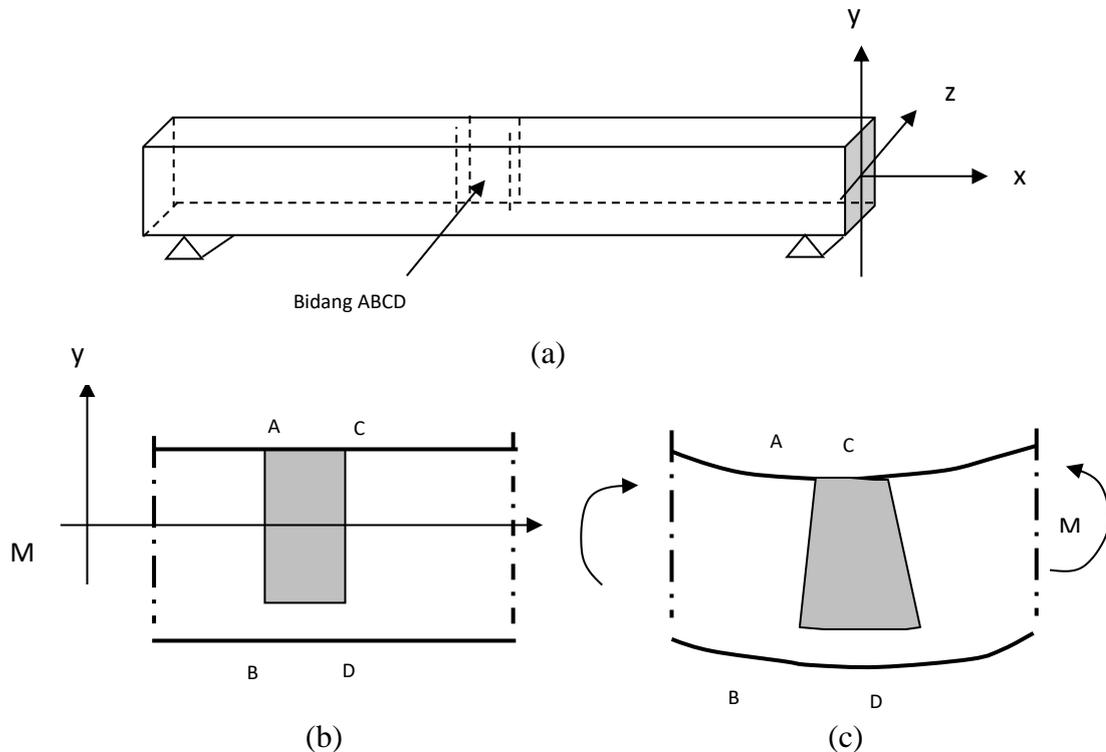
Gambar 2.2: Rangka portal menggunakan balok profil IWF.

Perkembangan teknologi dalam dunia konstruksi di Indonesia dapat dilihat dengan semakin banyaknya inovasi yang digunakan dalam proses konstruksi. Sehingga pada penelitian ini, akan membandingkan balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan profil siku tersusun agar dapat mengetahui apakah profil kanal ganda dan siku tersusun dapat digunakan dalam perencanaan balok pada konstruksi gedung.

2.4 Tegangan Pada Balok

Pada analisis lentur murni yang dibahas disini, penampang balok adalah prismatis (berpenampang konstan). Momen lentur yang bekerja pada balok berada pada sumbu simetri vertikal balok. Berikut asumsi dasar yang dikemukakan oleh Bernoulli dan Navier:

1. Penampang-penampang sebuah balok yang tegak lurus sumbunya akan tetap merupakan bidang datar setelah terjadi lenturan. Titik pangkal sumbu x, y, z adalah titik berat penampang Sebelum balok dibebani, maka bidang ABCD (berimpit dengan bidang xy) merupakan persegi seperti terlihat pada Gambar 2.3.a dan Gambar 2.3.b. Setelah balok dibebani maka balok akan melengkung, titik A dan titik C saling mendekat, sedangkan titik B dan titik D saling menjauh, dapat dilihat pada Gambar 2.3.c. Dengan demikian serat atas balok mengalami tegangan tekan dan serat bawah balok mengalami tegangan tarik. Batas antara tegangan tekan dengan tegangan tarik disebut garis netral, pada Gambar 2.3.b, garis netral digambarkan oleh sumbu x .



Gambar 2.3: Sifat balok dalam lentur.

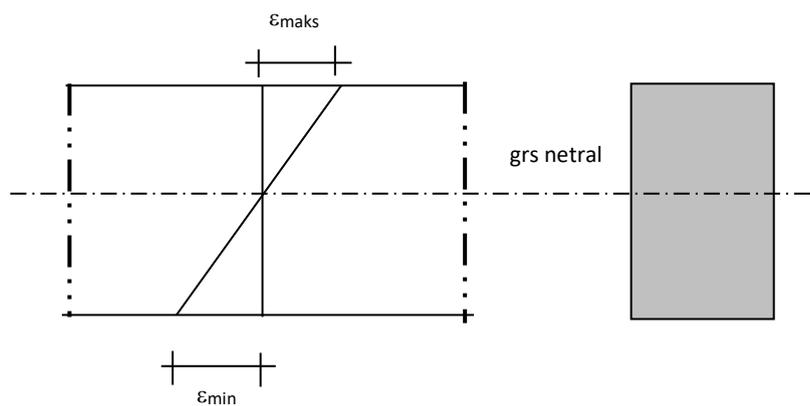
2. Pada balok yang mengalami lentur, regangan yang terjadi pada penampang berbanding langsung dengan jaraknya ke garis netral. Perhatikan kembali Gambar 2.3.b dan Gambar 2.3.c, pada AC terjadi regangan sebesar

$$\varepsilon_{AC} = \frac{\Delta AC}{AC} \quad (2.1)$$

Demikian pula pada BD akan terjadi regangan sebesar

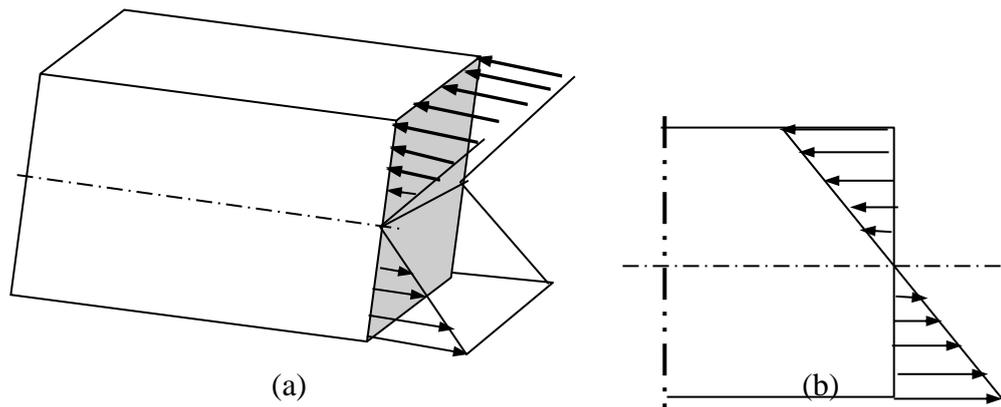
$$\varepsilon_{BD} = \frac{\Delta BD}{BD} \quad (2.2)$$

Semakin dekat ke garis netral maka nilai regangan akan semakin kecil, dan nilai regangan nol pada garis netral, seperti terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Regangan pada penampang balok.

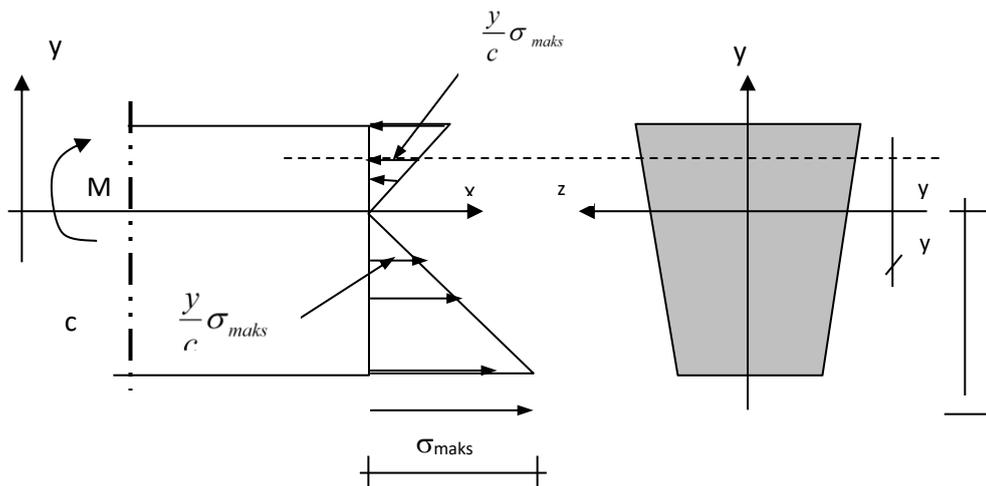
3. Tegangan normal yang diakibatkan oleh lentur berubah secara linier dengan jaraknya ke garis netral. Sesuai dengan hukum Hooke, nilai tegangan akan berbanding lurus dengan regangan. Dengan demikian semakin dekat ke garis netral nilai tegangan akibat lentur akan semakin kecil dan nol pada garis netral, terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Distribusi tegangan akibat lentur.

Diagram tegangan pada balok yang mengalami lentur merupakan benda tegangan dengan arah tegangan sesuai dengan arah momen yang bekerja, pada momen positif serat atas akan tertekan dan serat bawah akan tertarik seperti terlihat pada Gambar 2.5.a. Namun diagram benda tegangan biasanya digambar seperti pada Gambar 2.5.b.

Rumus Tegangan Lentur



Gambar 2.6: Tegangan pada lentur murni.

Tanda negatif pada $\frac{y}{c}\sigma_{maks}$ merupakan serat tekan, dan tanda positif untuk serat tarik, demikian pula halnya dengan nilai y , pada serat tekan bertanda positif dan pada serat tarik bertanda negatif.

Gaya = Tegangan x Luas penampang

Tegangan = $-\frac{y}{c}\sigma_{maks}$ (dapat juga diambil tanda positif)

Luas penampang = dA

Maka gaya = $-\frac{y}{c}\sigma_{maks} dA$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\int_A -\frac{y}{c}\sigma_{maks} dA = 0$$

$$-\frac{\sigma_{maks}}{c} \int_A y dA = 0$$

$$\int_A y dA = \bar{y}A = 0 \rightarrow \bar{y} \text{ adalah ordinat titik berat} \quad (2.3)$$

Karena A tidak nol maka \bar{y} harus nol.

Dengan demikian maka garis netral harus melalui titik berat penampang

$$\Sigma M = 0$$

$$M_{luar} = M_{dalam}$$

$$M = \int_A \left(-\frac{y}{c}\sigma_{maks} \right) dA \cdot y$$

$$M = -\frac{\sigma_{maks}}{c} \int_A y^2 dA$$

$$M = -\frac{\sigma_{maks}}{c} I_x$$

$$\sigma_{maks} = -\frac{M \cdot c}{I_x} \quad (2.4)$$

Tanda negatif dapat dihilangkan dan disesuaikan saja dengan tanda momen yang bekerja. Apabila momen yang bekerja positif maka serat bawah tertarik, tegangannya diberi tanda positif, dan serat atas tertekan, tegangannya diberi tanda negatif. Secara umum untuk tegangan sejauh y dari garis netral:

$$\sigma = \frac{M \cdot Y}{I_x} \quad (2.5)$$

Dengan:

- σ : tegangan normal akibat lentur
- M : momen luar
- Y : jarak tegangan yang ditinjau ke garis netral
- I_x : momen inersia terhadap sumbu x

Pemeriksaan balok cara ini hanya valid jika kondisi beban dalam kondisi elastis, tegangan belum mencapai leleh, F_y . Perencanaan baja cara lama, dianggap memenuhi syarat jika tegangan akibat beban rencana, lebih kecil dari tegangan ijin, yaitu $F_y/S.F$ dengan $S.F = \text{Safety factor}$. Pada metode ASD (Allowable Stress Design) dari AISC 2010 diketahui tegangan ijin lentur $F_b = 0.66 F_y$, yang berarti $S.F = 1.5$ (Wiryanto, 2016).

2.5 Tegangan *Von Mises*

Von Mises (1913) mengajukan pendapatnya bahwa luluh pada sistem tegangan yang kompleks akan terjadi pada saat deviator kedua dari invariant tegangannya melewati suatu nilai kritis tertentu. Persamaan ini adalah persamaan matematis yang ternyata konsisten dengan fakta empiris. Hasil percobaan menunjukkan bahwa material yang bersifat anisotropis, kriteria luluh tidak tergantung pada sumbu atau orientasi bidang, atau dengan kata lain merupakan suatu fungsi invarian dari tegangan.

(Satria, Beta Jagad. Soebandono, 2017) memberikan tafsir persamaan matematis yang telah diajukan oleh *Von Mises* tersebut. Hencky mengajukan pendapatnya bahwa luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Secara sederhana

dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk. Bagian lain adalah bagian yang berhubungan dengan perubahan volume.

Teori ini memperkirakan suatu kegagalan mengalah dalam tegangan geser yang memadai lebih besar dari yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Teori keruntuhan *Von Mises yield criterion* digunakan pada penelitian ini sebagai acuan dalam analisis tegangan yang digunakan. Berikut pada Persamaan 1 ditunjukkan rumus yang digunakan pada analisis *Von Mises yield criterion*

Rumus tegangan Von Mises

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_y^2 \quad \dots \quad (2.6)$$

Dengan :

σ_1 = tegangan pada arah 1 / arah sumbu x

σ_2 = tegangan pada arah 2 / arah sumbu y

σ_3 = tegangan pada arah 3 / arah sumbu z

σ' = tegangan *Von Mises*

2.6 Tegangan-regangan

Hubungan antar tegangan-regangan dideskripsikan oleh Robert Hooke dapat dieksperisikan dengan pers 2.7 sebagai berikut:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.7)$$

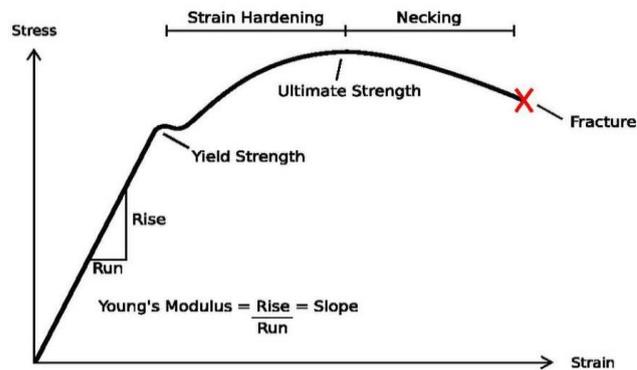
Dimana:

σ = tegangan (MPa)

E = modulus elastisitas (MPa)

ε = regangan

Terdapat grafik hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada material baja pada gambar 2.7.



Gambar 2.7: Grafik tegangan-regangan baja.

Beberapa karakteristik material dapat dilihat dari grafik diatas (Wijaya, 2008):

- a. Perilaku elastis: perilaku elastis terjadi apabila tegangan yang terjadi masih dalam area elastis. Dimana pada daerah elastis ini kurva yang terbentuk adalah garis linier. Jadi pada daerah ini tegangan yang terjadi proporsional terhadap regangan yang terjadi. Titik akhir dari garis linier ini disebut dengan batas elastis.
- b. Leleh: tegangan yang terjadi sedikit diatas area elastis akan menyebabkan material berdeformasi secara permanen. Perilaku ini disebut dengan leleh. Peristiwa leleh ini terjadi pada dua buah titik antara tegangan leleh bawah dimana tegangan tidak berubah tetapi regangan terus maningkat hingga titik leleh atas.
- c. *Strain hardening*: ketika material telah mencapai titik leleh atas tegangan dapat ditingkatkan dan menghasilkan kurva yang terus meningkat tetapi semakin datar hingga mencapai tegangan ultimate.
- d. *Necking*: setelah melewati tegangan ultimate kurva menurun hingga mencapai tegangan patah. Pada area kurva ini tegangan turun kemudian regangan bertambah tetapi luas permukaan berkurang pada sebuah titik.

2.7 Daktilitas

Menurut Paulay & Priestly (1992) daktilitas terbagi dalam (Paingi, Parung, & Amiruddin, 2017):

- a. Daktilitas regangan (*strain ductility*).
- b. Daktilitas regangan adalah perbandingan regangan maksimum dengan

regangan leleh pada balok yang mengalami beban aksial tarik atau tekan.

$$\mu_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \quad (2.8)$$

c. Daktilitas kelengkungan (*curvature ductility*)

Daktilitas kelengkungan adalah perbandingan antara sudut kelengkungan (putaran sudut per unit panjang) maksimum dengan sudut kelengkungan leleh dari suatu elemen struktur akibat gaya lentur.

$$\mu_{\varphi} = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} \quad (2.9)$$

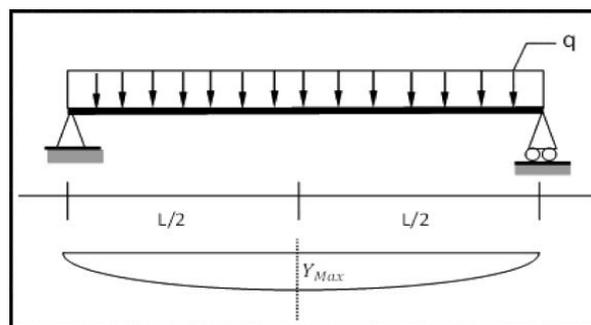
d. Daktilitas perpindahan (*displacement ductility*)

Daktilitas perpindahan adalah perbandingan antara perpindahan maksimum pada arah lateral terhadap perpindahan struktur saat leleh.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2.10)$$

2.8 Deformasi Pada Balok

Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti akan mengalami defleksi atau lendutan seperti pada gambar 2.8 berikut (Putra & Manalu, 2016)



Gambar 2.8: Deformasi balok dengan beban merata sepanjang bentang (Putra & Manalu, 2016).

Semua balok akan terdefleksi (melendut) dari posisi awalnya apabila terbebani (paling tidak disebabkan oleh berat sendirinya). Dalam struktur bangunan, seperti

balok dan plat lantai tidak boleh melendut terlalu berlebihan (*over deflection*) untuk mengurangi kemampuan layan (*serviceability*) dan keamanannya (*safety*) yang akan mempengaruhi psikologis (ketakutan pengguna).

Deformasi adalah salah satu kontrol kestabilan suatu elemen balok terhadap kekuatannya. Biasanya deformasi dinyatakan sebagai perubahan bentuk elemen struktur dalam bentuk lengkungan (θ) dan perpindahan posisi dari titik bentang balok ke titik lain yaitu defleksi (Δ) akibat beban di sepanjang bentang balok tersebut.

Defleksi pada balok terbagi merata pada dua perletakan sederhana SNI 03-1729-2015 membatasi besarnya lendutan yang timbul pada balok. Dalam pasal ini disyaratkan lendutan maksimum untuk balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah sebesar $L/360$, sedangkan untuk balok biasa lendutan tidak boleh lebih dari $L/240$. Pembatasan ini dimaksudkan agar balok memberikan kemampuan layanan yang baik. Beberapa perumusan defleksi dari balok ditunjukkan sebagai berikut:

- a. Untuk menghitung defleksi balok, beban kerja yang dipakai dalam perhitungan bukan beban berfaktor.
- b. Untuk balok diatas dua perletakan sederhana, untuk menghitung defleksi maksimum dapat dipakai perumusan berdasarkan buku Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD adalah sebagai berikut (Putra & Manalu, 2016)

Untuk beban terbagi rata q penuh pada balok

$$\Delta_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (2.11)$$

Untuk beban terpusat P ditengah bentang

$$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (2.12)$$

Untuk beban terpusat P tidak ditengah bentang

$$\Delta_{\max} = \frac{Pb(3L^2 - 4b^2)}{48EI} \quad (2.13)$$

Sementara untuk beban merata q tidak disepanjang bentang, dengan rumus pendekatan berdasarkan Slope and Deflection Method, Appendix 2: beam reactions, bending moment and deflections, adalah sebagai berikut:

$$\Delta_{\max} = \frac{W(8L^3 - 4Lb^2 + b^3)}{384EI} \quad (2.14)$$

2.9 Tekuk Torsi Lateral

Kegagalan suatu komponen struktur lentur (balok) dapat terjadi ketika balok mencapai momen plastis tetapi kegagalan komponen struktur lentur dapat juga ditentukan oleh 2 macam kriteria. Kriteria pertama yaitu profil akan mengalami lateral torsional buckling (tekuk torsi lateral) yang diakibatkan adanya displacement dan rotasi di tengah bentang, namun hal ini tidak mengalami perubahan bentuk. Kriteria kedua yaitu profil akan mengalami local buckling (tekuk lokal) pada sayap tekan dan juga pada pelat badan, sehingga mengakibatkan berubahnya bentuk profil, hal ini diakibatkan oleh adanya rasio kelangsingan yang relatif sangat besar antara tinggi pelat badan terhadap tebalnya. Kekuatan lentur nominal, M_n harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh (momen plastis) dan tekuk torsi lateral (Wiryanto, 2016):

Akibat leleh:

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \quad (2.15)$$

Akibat Tekuk Torsi Lateral

- Bila $L_b < L_p$, keadaan batas dari tekuk torsi lateral tidak boleh digunakan.
- Bila $L_p < L_b < L_r$

Nilai momen lentur pada SNI 1729-2015 yaitu:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y \cdot S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2.16)$$

- Bila $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (2.17)$$

Keterangan:

L_b = panjang antara titik-titik, baik yang dibreising melawan perpindahan lateral sayap tekan atau dibreising melawan puntir penampang melintang. In (mm)

$$F_{cr} = \frac{Cb \pi^2 E}{\left(\frac{Lb}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{Lb}{r_{ts}}\right)^2} \quad (2.18)$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja = 200000 Mpa

J = konstanta torsi (mm⁴)

S_x = modulus penampang elastis di sumbu x (mm³)

h_o = jarak antara titik berat sayap (mm)

$$M_{cr} = Cb \frac{\pi}{Lb} \sqrt{E I_y GJ + \left(\frac{\pi E}{Lb}\right)^2 I_y C_w} \quad (2.19)$$

Pembatasan panjang L_p dan L_r ditentukan sebagai berikut:

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.20)$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (2.21)$$

Dimana:

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (2.22)$$

dan koefisien c ditentukan sebagai berikut:

a. Untuk profil I simetris ganda c = 1

b. Untuk kanal $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

2.10 Program Analisis Metode Elemen (Finite Element Method)

Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Masalah-masalah tersebut meliputi analisa struktur, heat transfer, aliran fluida, perpindahan massa, dan elektromagnetik. Selain penyelesaian dengan metode numeris, terdapat penyelesaian dengan metode matematis. Untuk permasalahan kompleks dari geometri pembebanan, dan sifat material, umumnya akan sulit untuk menyelesaikannya secara matematis. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada

bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (*kontinum*). (Lammirta & Tediarto, 2018)

Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan software dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

1. Preprocessing: pendefinisian masalah
2. Langkah umum dalam preprocessing terdiri dari:
 - a. Mendefinisikan *keypoint/lines/areas/volume*.
 - b. Mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometrik. Sifat geometrik yang digunakan untuk menggambarkan atribut geometris seperti ketebalan, meliputi daerah sectional, momen kedua daerah, konstan torsi dll. Properti dimasukkan atau diekstrak dari data dibagian perpustakaan. Untuk model 3D, tidak ada kebutuhan untuk menetapkan sifat geometrik.
 - c. Mendefinisikan mesh *lines/areas/volumes* sebagaimana dibutuhkan. Jumlah detil yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis ,1D, 2D, *axisymetric* dan 3D. Meshing adalah proses untuk menentukan model FEM dalam hal fitur geometris yang harus dibagi menjadi elemen hingga dalam penyelesaiannya. *Meshing* dilakukan berbeda untuk garis, permukaan atau volume. Untuk *meshing* volume, elemen yang dipilih harus didefinisikan dalam istilah dari jenis generik elemen, bentuk elemen dan interpolasi.
3. Solution: *assigning loads, constraints, and solving*.

Di sini, perlu menentukan beban (titik atau tekanan), *constraints* (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.
4. Postprocessing: *further processing and viewing of the results*.

Dalam bagian ini pengguna mungkin dapat melihat daftar pergeseran nodal, gaya elemen dan momentum, plot deflection dan diagram kontur tegangan (*stress*) atau pemetaan suhu.

2.11 Studi Literatur

1. Pada jurnal Roberto dan Daniel Rumbi Teruna ini telah dilakukan analisis perbandingan tegangan dan deformasi balok profil WF dengan balok cold-formed yang dibentuk dari kanal dan pelat baja bergelombang. Balok dengan profil kanal tersusun memiliki inersia hampir sama dengan profil WF. Setelah dievaluasi dengan bantuan program analisis struktur metode elemen hingga diperoleh hasil tegangan dan deformasi memenuhi syarat pada kedua profil. Balok dengan profil gabungan tersebut lebih ringan dibandingkan profil WF namun balok dengan profil WF tegangan dan deformasi yang lebih baik daripada balok gabungan, berat sendiri dari balok WF ini lebih berat daripada balok gabungan, sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam pemilihan profil balok. (Roberto. Teruna, 2018)
2. Pada jurnal Srikirana Meidiani dan Imelda Juita ini telah dilakukan analisis perbandingan perencanaan baja profil tunggal wf dengan profil tersusun (*built-up*) kanal pada bangunan gable frame. Pada umumnya bangunan Gable Frame lebih sering menggunakan profil baja tunggal WF, tetapi yang jadi masalah adalah berat sendiri baja tunggal cukup besar terutama untuk bentang yang panjang. Pemakaian profil baja tersusun (*built-up*) kanal yang memiliki berat lebih ringan namun memiliki kekakuan yang tinggi. Penelitian ini membandingkan 5 jenis mutu baja konvensional (Bj.37, Bj.41, Bj.44, Bj.50 dan Bj.52) pada struktur gable frame ganda yang direncanakan dengan bentang 40 m dan tinggi kolom 7,5 m. Hasil penelitian menunjukkan jika ditinjau dari berat pemakaian baja profil tersusun (*built-up*) kanal lebih berat dibandingkan baja profil tunggal WF namun ditinjau dari harga pemakaian baja profil tersusun kanal lebih murah dibandingkan pemakaian profil tunggal WF. (Meidiani, Srikirana. Juita, 2016)
3. Pada jurnal Arifien Nursandah ini telah dilakukan analisa perencanaan kapasitas penampang profil baja siku pada struktur balok sederhana. Penampang baja siku sering digunakan sebagai balok untuk menerima beban-beban yang menyebabkan gaya lentur dua arah dan gaya torsi. Dari beberapa peraturan yang ada, seperti SNI 03-1729-2002: Tata Cara Perencanaan

Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, belum memiliki peraturan yang baku yang mewakili perilaku tersebut tetapi cukup konservatif (atau masih bisa diterima) apabila diaplikasikan pada balok profil siku yang menerima gaya lentur saat ini. Trahair pada tahun 2002 melakukan pengembangan metode pendekatan untuk desain balok profil baja siku dengan cara membatasi gaya-gaya lentur dua arah dan torsi sehingga sesuai dengan filosofi desain balok pada umumnya (lentur satu arah). Hasil penelitian antara Trahair maupun LRFD, semakin besar dimensi profil siku maka semakin besar pula kapasitas penampang M_n dan V_n . (Nursandah, 2011)

4. Pada jurnal Mega Tri Paskah dan Servie O dkk ini telah melakukan analisa studi kuat tekan kolom baja profil kanal u ganda dengan variasi jarak antar profil. Pada penelitian ini dicoba membuat kolom menggunakan baja profil U yang selama ini hanya digunakan untuk keperluan konstruksi ringan seperti gording dan rangka atap. Penelitian ini menggunakan profil U yang dirangkai ganda dengan pengaku plat kopel sebagai kolom selanjutnya dilakukan pemodelan finite element dengan program Ansys Mechanical APDL. Analisis static structural digunakan untuk memperoleh beban maksimum dan deformasi pada kolom sedangkan analisis linear buckling digunakan untuk memperoleh besarnya beban kritis pada kolom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak antar profil berpengaruh terhadap ketahanan optimum kolom dalam menahan beban dan berpengaruh juga pada besarnya perbedaan deformasi kolom. (Paskah, Dapas, & Manalip, 2019)

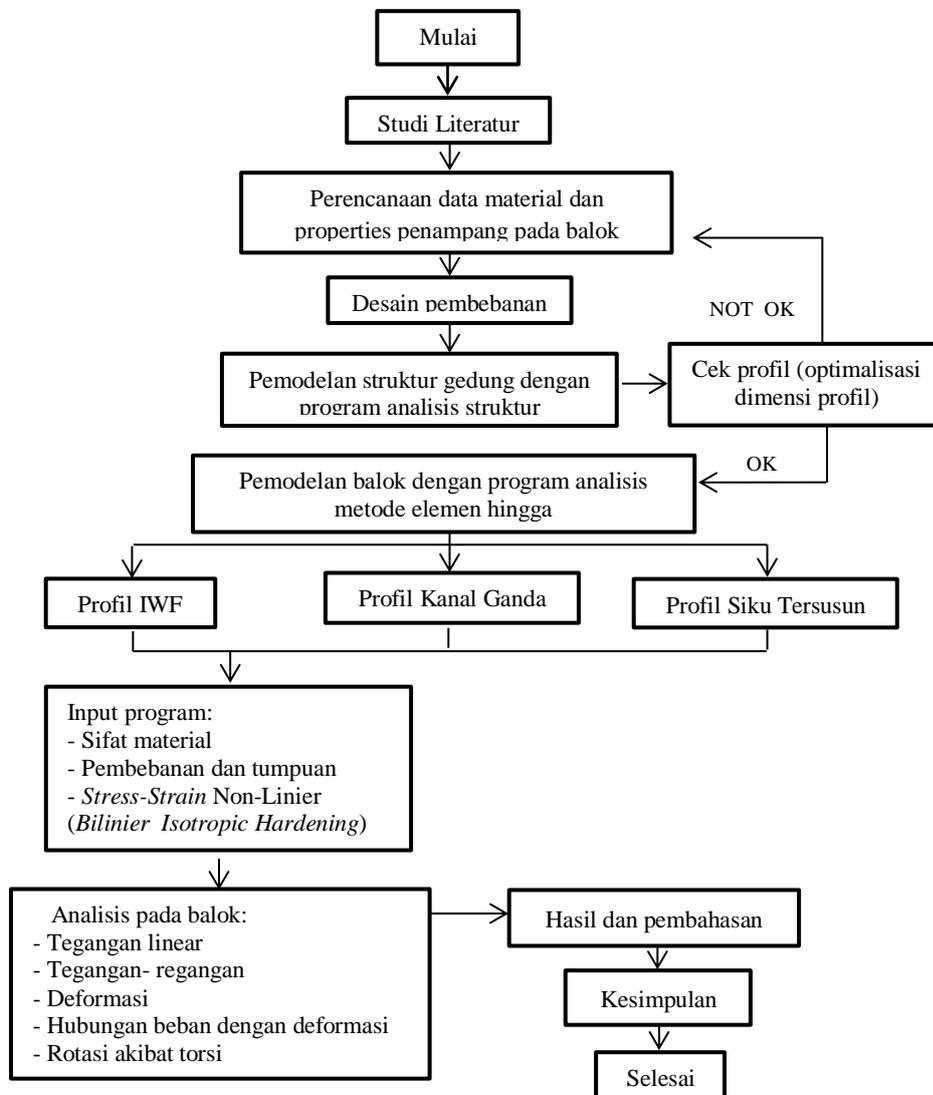
Perencanaan struktur balok umumnya direncanakan dengan menggunakan profil IWF namun bagaimana jika struktur balok direncanakan dengan profil tersusun. Sehingga peneliti akan membandingkan balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun *hot rolled* dengan memiliki momen inersia yang hampir sama. Pemodelan balok menggunakan variasi bentang 4m, 6m, 8m dan 10m pada tiap model balok. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan program analisis metode elemen hingga. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perilaku pada balok terhadap tegangan, deformasi dan rotasi akibat torsi yang terjadi untuk dapat mengetahui profil yang lebih baik.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi

Metodologi dalam analisis perbandingan pada struktur balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun dilakukan dengan tahap pengerjaan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dikumpulkan berhubungan dengan desain struktur balok baja. Profil yang digunakan yaitu profil IWF, profil kanal ganda dan profil siku tersusun. Pengumpulan data yang dilakukan seperti section properties dan properties fisik material baja. Selain itu, dikumpulkan juga data-data yang berhubungan dengan tugas akhir ini yaitu pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup, beban angin serta beban gempa. Teori-teori dan rumus-rumus yang berkaitan dengan analisis perbandingan tegangan dan deformasi pada struktur balok baja menggunakan SNI 1729-2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural yang mengacu pada AISC 2010.

3.3 Tahap Desain Data

Pada tahap desain data yang direncanakan yaitu data material dan data penampang pada balok. Kemudian dilakukan pradimensi-dimensi profil balok tersebut yang akan dianalisa stabilitas dan optimalisasinya dalam memikul beban yang direncanakan. Profil baja yang akan dibandingkan yaitu profil IWF, kanal ganda dan siku tersusun. Profil baja yang akan digunakan harus memiliki momen inersia hampir yang sama.

3.3.1 Data Material

Properti dari material baja yang digunakan terdapat dalam Tabel 3.1.

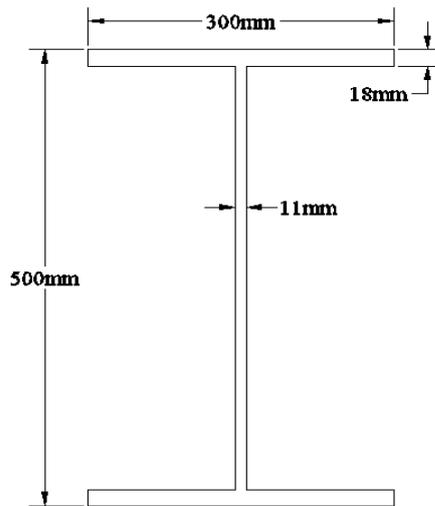
Tabel 3.1: Properti material baja.

DESKRIPSI	NILAI
Massa jenis	7850 kg/m ³
Modulus elastisitas Young (E)	200000 Mpa
Angka Poisson (u)	0.3
Modulus elastisitas geser (G)	8.0769 x 10 ⁴ MPa
Tegangan leleh (Fy)	250 MPa
Tegangan ultimate (Fu)	410 MPa

3.3.2 Profil Baja yang Digunakan

1. Profil IWF

Profil IWF yang akan digunakan diusahakan memiliki penampang kompak-kompak. Profil IWF menjadi acuan dalam membandingkan antara balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan siku tersusun. Dicoba menggunakan profil IWF 500x300 dengan ukuran yang ditampilkan pada Tabel 3.2. (Ir. Gunawan, n.d.)



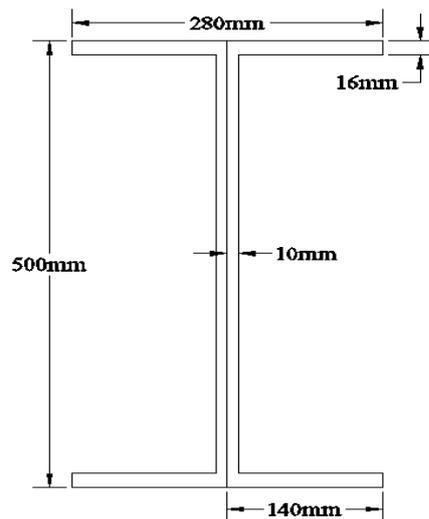
Gambar 3.2: Profil IWF 500x300.

Tabel 3.2: *Section properties* profil IWF.

SECTION PROPERTIES	NILAI
Tinggi (H)	500 mm
Lebar (B)	300 mm
t1 (tw)	11 mm
t2 (tf)	18 mm
Area (A)	135 cm ²
Momen inersia arah xx (Ix)	71000 cm ⁴
Momen inersia arah yy (Iy)	8110 cm ⁴
Jari-jari girasi (rx)	20.8 cm
Jari-jari girasi (ry)	7.04 cm
Modulus penampang (Sx)	2910 cm ³
Modulus penampang (Sy)	541 cm ³

2. Profil Kanal Ganda

Profi kanal ganda diusahakan memiliki momen inersia yang hampir sama dengan penampang profil IWF dan siku tersusun yang telah dihitung. Dicoba menggunakan profil kanal ganda dengan ukuran yang ditampilkan pada Tabel 3.3.



Gambar 3.3: Profil kanal ganda.

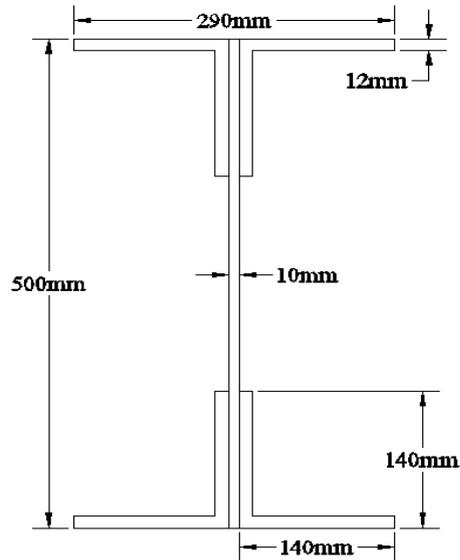
Tabel 3.3: *Section properties* profil kanal ganda.

SECTION PROPERTIES	NILAI
Luas area (A)	18320 mm ²
Momen inersia arah xx (Ix)	69576.33 cm ⁴
Momen inersia arah yy (Iy)	5885.067cm ⁴
Jari-jari girasi (rx)	19.488 cm
Jari-jari girasi (ry)	5.668 cm
Modulus penampang (Sx)	2783.053 cm ³
Modulus penampang (Sy)	420.3619 cm ³

3. Profil Siku Tersusun

Profi siku tersusun diusahakan memiliki momen inersia yang sama dengan penampang profil IWF dan kanal ganda yang telah dihitung. Dicoba

menggunakan profil siku tersusun dengan ukuran yang ditampilkan pada Tabel 3.4.



Gambar 3.4: Profil siku tersusun.

Tabel 3.4: *Section properties* profil siku tersusun.

SECTION PROPERTIES	NILAI
Luas area (A)	17864 mm ²
Momen inersia arah xx (Ix)	69873.36 cm ⁴
Momen inersia arah yy (Iy)	4963.482 cm ⁴
Jari-jari girasi (rx)	19.777 cm
Jari-jari girasi (ry)	5.271 cm
Modulus penampang (Sx)	2794.934 cm ³
Modulus penampang (Sy)	342.309 cm ³

3.4 Perencanaan Struktur Gedung Menggunakan Program Analisis Struktur

Perencanaan struktur portal terkait dengan gedung yang akan digunakan dilakukan dengan bantuan program analisis struktur. Setelah dimensi struktur gedung direncanakan selanjutnya dilakukan asumsi desain pembebanan. Perhitungan pada struktur gedung berpedoman dalam peraturan PPIUG (1987)

untuk beban mati tambahan, SNI 1726 (2019) untuk beban gempa, dan RSNI 1727 (2018) untuk kombinasi beban.

3.4.1 Pemodelan Struktur Gedung

Struktur gedung yang di buat dengan pemodelan 3D dengan data struktur gedung sebagai berikut:

Kegunaan bangunan : Gedung Perkantoran

Lokasi gedung : Padang

Tinggi gedung : 18m

Lebar gedung : 20m

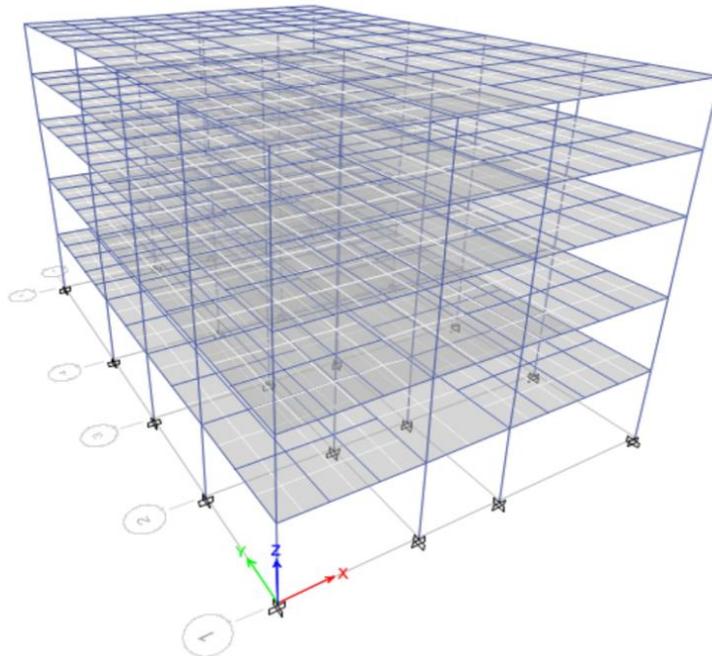
Panjang gedung : 24m

Kolom : H 500x500

Balok : WF 500x300x11x18

Mutu baja : BJ-41

Berikut pemodelan 3D struktur gedung yang akan direncanakan pada Gambar 3.5:



Gambar 3.5: Tampilan 3d struktur portal gedung.

3.4.2 Beban Mati

Beban mati merupakan berat struktur itu sendiri maupun tambahan, seperti kolom, balok, keramik, dinding, dan lain-lain. Berikut data perencanaan beban mati tambahan pada gedung:

1. Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai 1-4

Plafond + Penggantung	= 18 kg/m ²
M.E	= 40 kg/m ²
Lantai Keramik	= 24 kg/m ²
<u>Spesi Lantai Keramik (t=2cm)</u>	<u>= 42 kg/m²</u>
	= 124 kg/m ²
	= 1.24 kN/m ²

Beban Mati Tambahan pada Dinding Lantai 1-2

Dinding Batako (t=15cm)	= 300 kg/m ²
<u>Tinggi lantai 1 ke 2</u>	<u>= 4 m</u>
	= 1200 kg/m
	= 12 kN/m

Beban Mati Tambahan pada Dinding Lantai 3-4

Dinding Batako (t=15cm)	= 300 kg/m ²
<u>Tinggi lantai 1 ke 2</u>	<u>= 3 m</u>
	= 900 kg/m
	= 9 kN/m

2. Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai Atap

Genangan Air (t= 2cm)	= 20 kg/m ²
Plafond + Penggantung	= 18 kg/m ²
<u>M.E</u>	<u>= 40 kg/m²</u>
	= 78 kg/m ²
	= 0.78 kN/m ²

3.4.3 Beban hidup

Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat penghunian pada bangunan gedung. Berikut perencanaan beban hidup pada struktur gedung:

1. Beban Hidup Lantai 1

Koridor Lantai 1	= 4.79 kN/m ²
Ruang Aula	= 4.79 kN/m ²
Ruang Arsip dan Komputer	= 4.79 kN/m ²
Kantin	= 4.79 kN/m ²
Lobi	= 4.79 kN/m ²

2. Beban Hidup Lantai 2

Koridor Lantai Atas	= 3.83 kN/m ²
Ruang Aula	= 4.79 kN/m ²
Ruang Kantor	= 2.4 kN/m ²

3. Beban Hidup Lantai 2

Koridor Lantai Atas	= 3.83 kN/m ²
Ruang Kantor	= 2.4 kN/m ²

4. Beban Hidup Atap

= 0.96 kN/m²

3.4.4 Beban Gempa

Metode yang digunakan dalam analisis beban gempa ialah dengan analisis respons spektrum. Beban gempa di perhitungkan berdasarkan SNI 1726:2019 dan dapat dilihat pada lampiran 1.

3.4.5 Kombinasi Beban

Kombinasi beban dihitung berdasarkan RSNI 1727 (2018) tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Kombinasi beban yang digunakan dalam struktur gedung ini ialah Kombinasi beban untuk desain tegangan izin

1. D
2. D + L

Dari hasil program analisis struktur diambil satu elemen balok dengan setiap variasi bentang yang memiliki momen terbesar untuk menjadi acuan dalam melakukan analisis perbandingan di program analisis metode elemen hingga selanjutnya. Pada analisis linear pembebanan yang digunakan menggunakan hasil beban tributary yang terdapat pada program analisis struktur dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Beban tributary pada balok.

Balok	Bentang (m)	Momen (KN.m)	Elevasi	Story	Beban Tributary (KN/m)
B60	4	20,1601	5	1	54,97
B28	6	40,8178	5	2	54,97
B61	8	78,1352	5	2	54,97
B16	10	93,1541	D	2	54,97

Sehingga diperoleh nilai beban kombinasi yang akan digunakan pada pembebanan di program analisis metode elemen hingga pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6: Beban kombinasi pada balok.

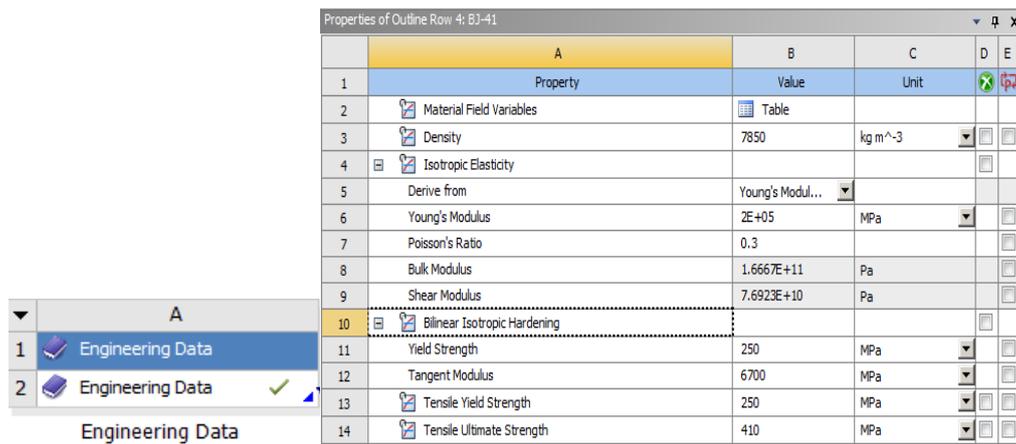
Beban	Beban Tributary (KN/m)
Mati Pelat	18,85
Mati Tambahan	16,96
Hidup	19,16
D+L	54,97

3.5 Pemodelan Balok Menggunakan Program Analisis Elemen Hingga

Permodelan struktur balok yang digunakan menggunakan bantuan program analisis metode elemen hingga 3D. Struktur balok yang digunakan yaitu profil baja IWF, profil kanal ganda dan profil siku tersusun. Balok yang digunakan memiliki variasi bentang yaitu 4m, 6m, 8m dan 10m pada masing-masing bentuk profil balok.

3.5.1 Definisi material

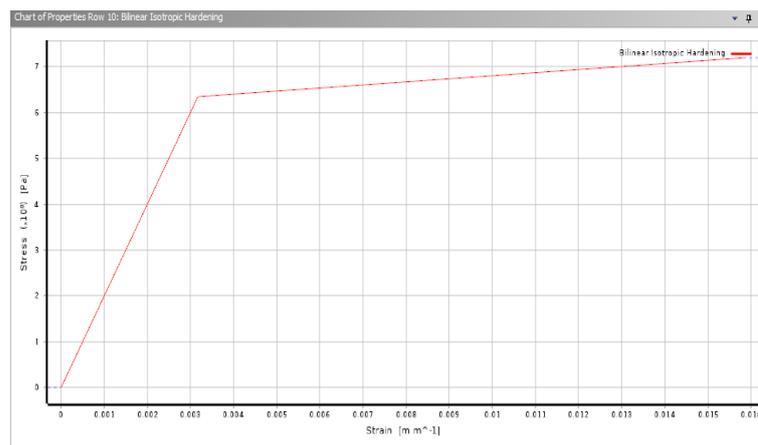
Sebelum melakukan analisis balok yang harus di input terlebih dahulu ialah spesifikasi material pada *Engineering Data*. Dibawah ini merupakan spesifikasi material yang digunakan pada balok yang akan di analisis pada Gambar 3.6 sebagai berikut:



	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modul...			
6	Young's Modulus	2E+05	MPa		
7	Poisson's Ratio	0.3			
8	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
9	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		
10	Bilinear Isotropic Hardening				
11	Yield Strength	250	MPa		
12	Tangent Modulus	6700	MPa		
13	Tensile Yield Strength	250	MPa		
14	Tensile Ultimate Strength	410	MPa		

Gambar 3.6: Input material BJ-41 pada program analisis metode elemen hingga.

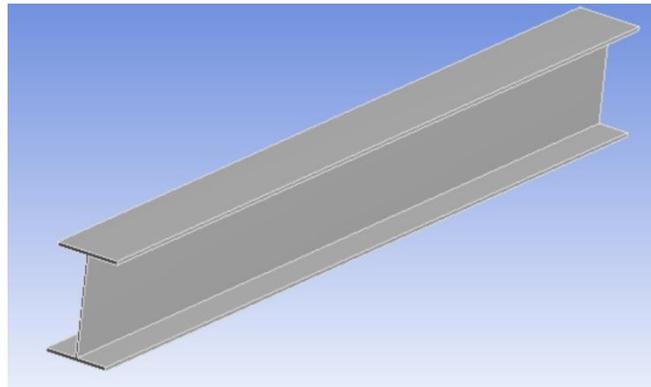
Dari kedua material tersebut diinput material non linier pada *engineering data* dengan menggunakan *bilinier isotropic hardening* seperti pada Gambar 3.7.



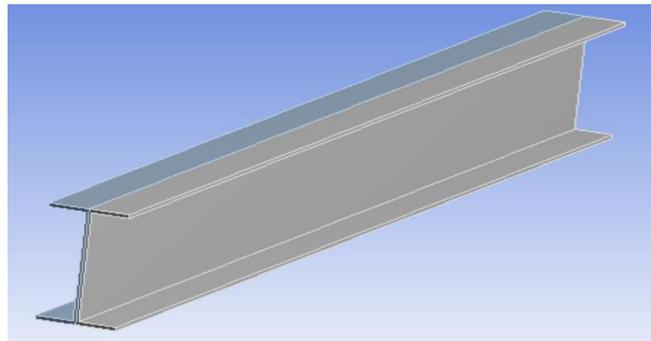
Gambar 3.7: Grafik *bilinier isotropic hardening*.

3.5.2 Input pemodelan Balok

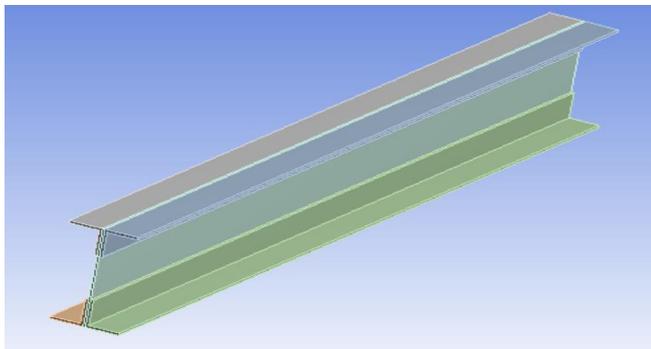
Model yang digunakan yaitu balok IWF, balok kanal ganda dan balok siku tersusun. Berikut pemodelan 3D pada balok dapat dilihat pada Gambar 3.8, Gambar 3.9 dan Gambar 3.10:



Gambar 3.8: Pemodelan Balok IWF.

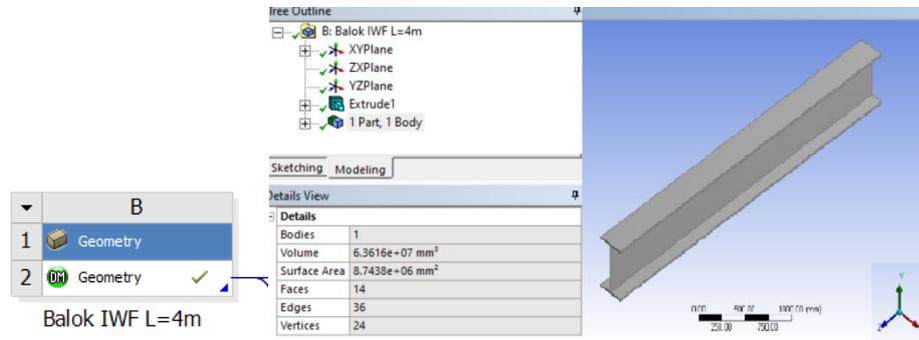


Gambar 3.9: Pemodelan balok kanal ganda.



Gambar 3.10: Pemodelan balok siku tersusun.

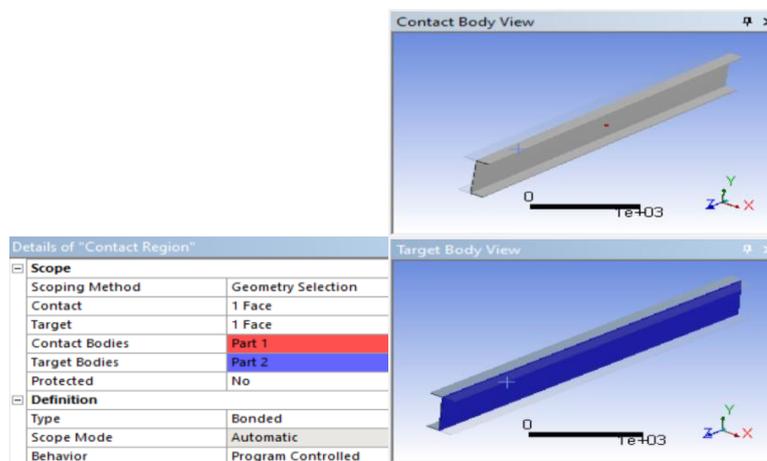
Dibawah ini penginputan salah satu model ke software yang akan digunakan dalam analisis diantaranya pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11: Input pemodelan balok ke program analisis metode elemen hingga.

3.5.3 Definisi *contact*

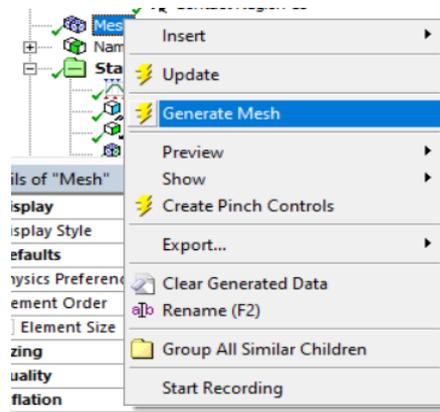
Contact merupakan penghubung antara dua geometri yang memiliki fungsi tersendiri sesuai dengan perilaku material tersebut. Dalam analisis balok ini digunakan tipe *contact bonded*. *Bonded* berfungsi sebagai penghubung yang saling melekat ketika diberi beban material, yang terhubung dengan tipe kontak ini akan terikat sesuai dengan arah beban yang diterapkan. Dengan kontak *bonded* tidak mengizinkan terjadinya *sliding* maupun *gap*. Mengatur *contact* pada salah satu balok dapat dilihat pada Gambar 3.12.



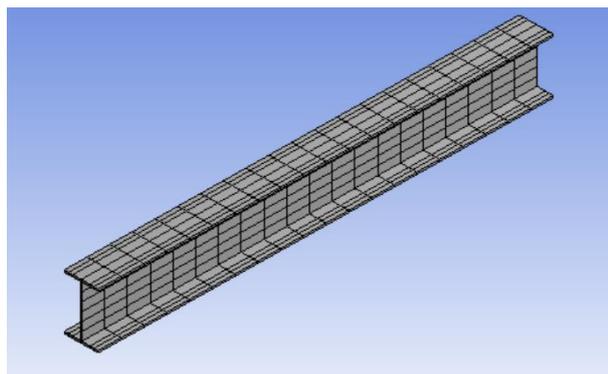
Gambar 3.12: Mengatur *contact* pada balok.

3.5.4 Meshing

Meshing merupakan proses simulasi yang membagi geometri menjadi elemen-elemen sederhana. *Meshing* juga dapat mempengaruhi akurasi serta kecepatan saat melakukan running analisis. Semakin kecil *meshing* yang dibuat maka semakin bagus pula akurasi yang di dapat saat melakukan running analisis. Dalam analisis balok ini *meshing* yang dilakukan secara *default* tanpa mengatur ukuran maupun tipe dari *meshing* tersebut. Dibawah ini merupakan *meshing* pada salah satu model serta cara melakukan generate mesh pada gambar 3.12 dan gambar 3.13:



Gambar 3.13: Generate mesh pada model balok.



Gambar 3.14: *Meshing* pada balok IWF.

3.5.5 Pembebanan dan tumpuan balok

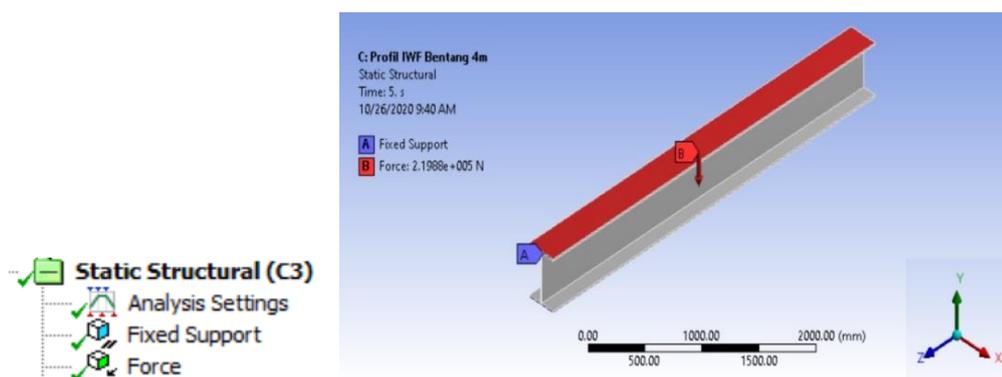
Balok ditumpu pada kedua ujungnya dengan tumpuan jepit. Beban yang di terima dalam melakukan analisis balok ialah beban merata. Pada analisis linear

menggunakan beban kombinasi yang diambil dari hasil program analisis struktur sebesar 54,97 kN/m. Beban merata dimasukkan sebagai *force* dalam program analisis metode elemen hingga. Dikarenakan satuan dari *force* adalah massa per luas, nilai beban merata yaitu 54,97 kN/m harus dikalikan dengan panjang bentang. Untuk bentang balok 4m, *force* bernilai 219880 N. Berikut nilai pembebanan pada setiap bentang yang diinput ke dalam program analisis metode elemen hingga pada tabel 3.5.

Tabel 3.5: Pembebanan yang diinput kedalam program analisis metode elemen hingga.

Bentang (m)	FORCE (KN)
4	219.88
6	329.82
8	439.76
10	549.7

Sedangkan pada analisis non-linear menggunakan beban monotonik yang diberikan pada balok hingga terjadi plastis dan beban maksimum sebesar 4000 kN. Pada gambar 3.14 dan gambar 3.15 terdapat cara mendefinisikan beban dan tumpuan pada model.

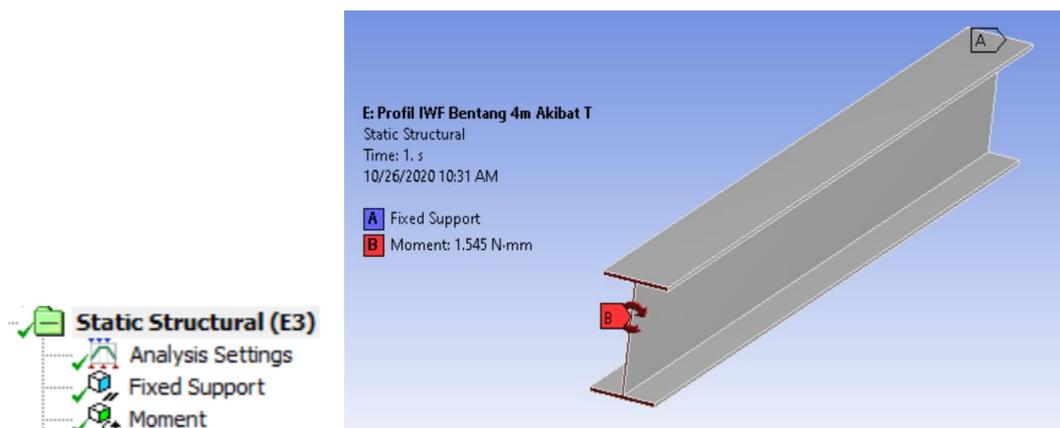


Gambar 3.15: Tumpuan jepit pada kedua ujung balok IWF dan beban yang diberikan pada balok.

Pada analisa akibat torsi, balok dijepit di salah satu ujung balok dan diberikan torsi di ujung balok dapat dilihat pada gambar 3.15. Nilai torsi yang diberikan ialah hasil dari program analisis struktur pada setiap bentang nya yaitu pada tabel 3.6.

Tabel 3.6: Nilai torsi yang diperoleh dari hasil program analisis struktur.

Bentang (m)	T (KN.m)
4	0.000001545
6	-0.001
8	0.0007
10	0.0006



Gambar 3.16: Tumpuan jepit pada ujung balok IWF dan torsi yang diberikan diujung balok.

3.5.6 Step control dan large deflection

Pengaturan *time step* dan *large deflection* sangat penting untuk melakukan analisis non linier. Pada gambar 3.16 merupakan pengaturan *time step* dan *large deflection* pada program analisis metode elemen hingga.

Details of "Analysis Settings"		Solver Controls	
Step Controls		Solver Type	Program Controlled
Number Of Steps	5.	Weak Springs	Off
Current Step Number	1.	Solver Pivot Checking	Program Controlled
Step End Time	1. s	Large Deflection	On
Auto Time Stepping	On	Inertia Relief	Off
Define By	Substeps		
Initial Substeps	5.		
Minimum Substeps	5.		
Maximum Substeps	10.		

Gambar 3.17: Pengaturan *time step* dan *large deflection*.

BAB 4

PEMBAHASAN

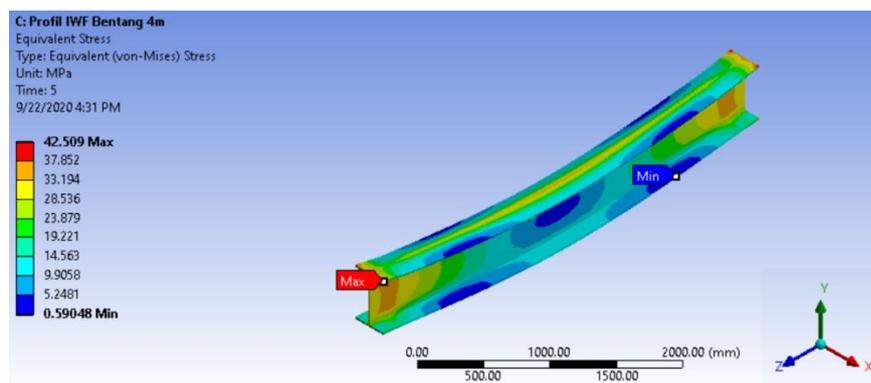
4.1 Hasil Analisis Tegangan Pada Balok

4.1.1 Analisis Tegangan Linear

Tegangan yang di analisis disesuaikan dengan batasan dari mutu baja. Mutu baja yang digunakan dalam analisis balok ini ialah BJ-41 dengan kuat leleh (f_y) sebesar 250 MPa, dan kuat ultimate (f_u) sebesar 410 MPa. Pada setiap pemodelan balok memiliki variasi bentang yaitu 4m, 6m, 8m dan 10m. Pembebanan yang digunakan yaitu beban kombinasi.

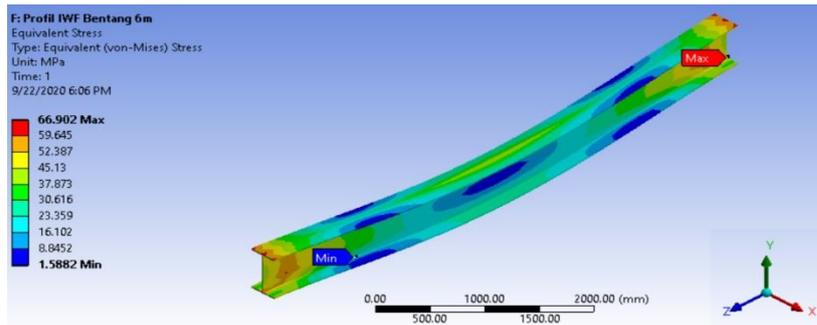
4.1.1.1 Balok IWF

Tegangan ekuivalen (*Von-mises Stress*) pada balok IWF dianalisis terhadap variasi panjang bentang balok. Pada Bentang 4m, balok IWF terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 42,509 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1.



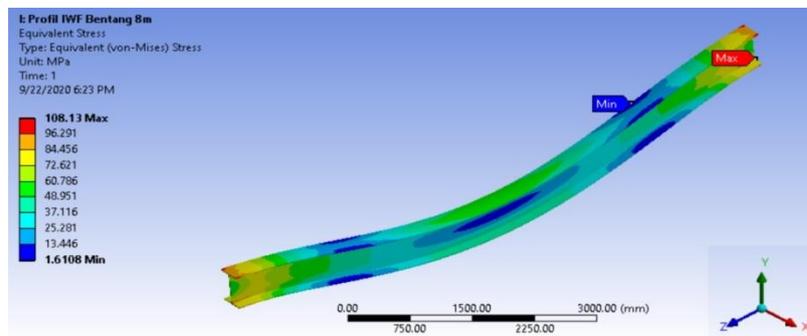
Gambar 4.1: Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 4m.

Pada Bentang 6m, balok IWF terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 66,902 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.2.



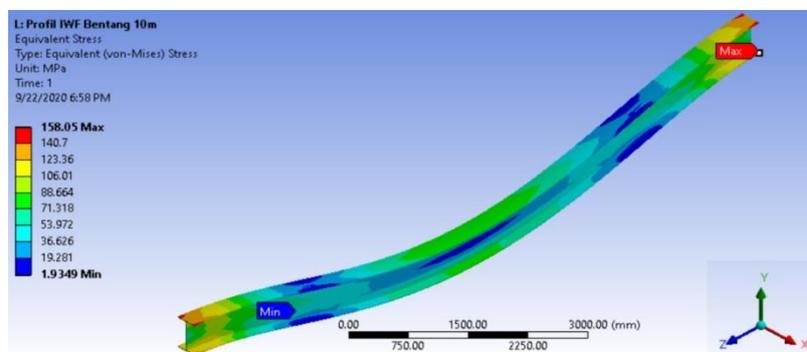
Gambar 4.2: Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 6m.

Pada Bentang 8m, balok IWF terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 108,13 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 8m.

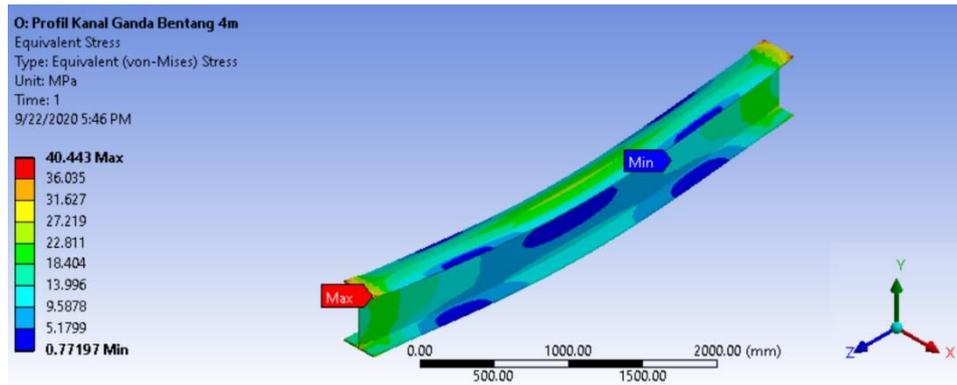
Pada Bentang 10m, balok IWF terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 158,05 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Tegangan yang terjadi pada balok IWF bentang 10m.

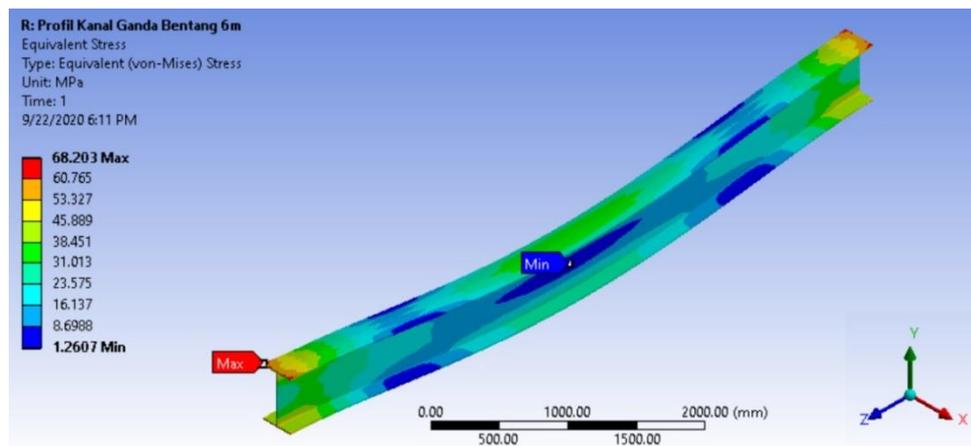
4.1.1.2 Balok Kanal Ganda

Tegangan ekuivalen (*Von-mises Stress*) pada balok Kanal Ganda dianalisis terhadap variasi panjang bentang balok. Pada Bentang 4m, balok Kanal Ganda terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 40,443 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.5.



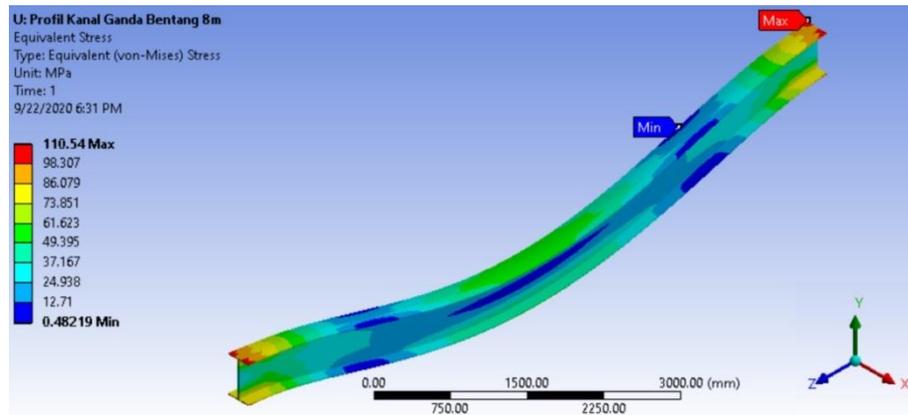
Gambar 4.5: Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 4m.

Pada Bentang 6m, balok Kanal Ganda terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 68,203 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.6.



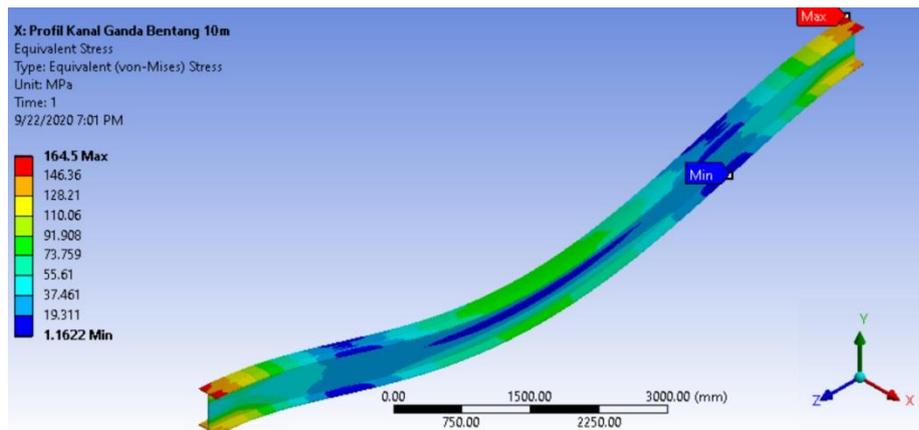
Gambar 4.6: Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 6m.

Pada Bentang 8m, balok Kanal Ganda terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 110,54 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7: Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 8m.

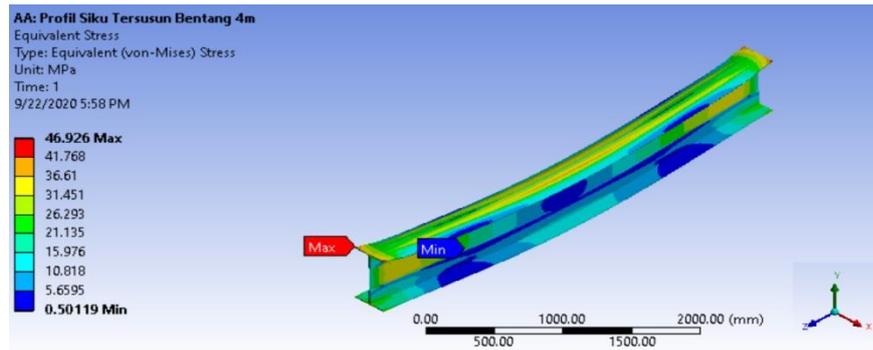
Pada Bentang 10m, balok Kanal Ganda terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 164,5 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8: Tegangan yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 10m.

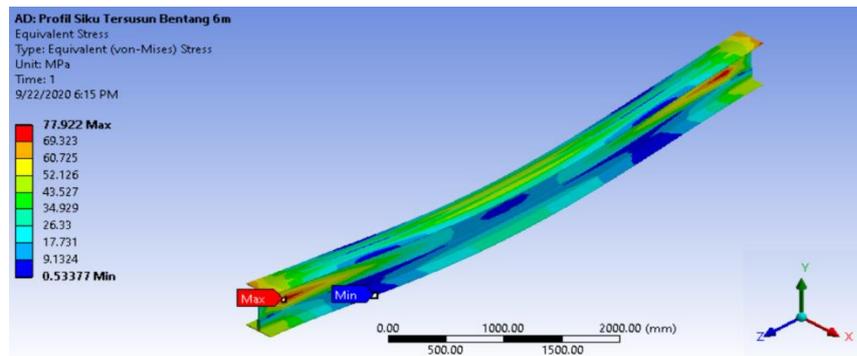
4.1.1.3 Balok Siku Tersusun

Tegangan ekuivalen (*Von-mises Stress*) pada balok Siku Tersusun dianalisis terhadap variasi panjang bentang balok. Pada Bentang 4m, balok siku tersusun terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 42,926 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.9.



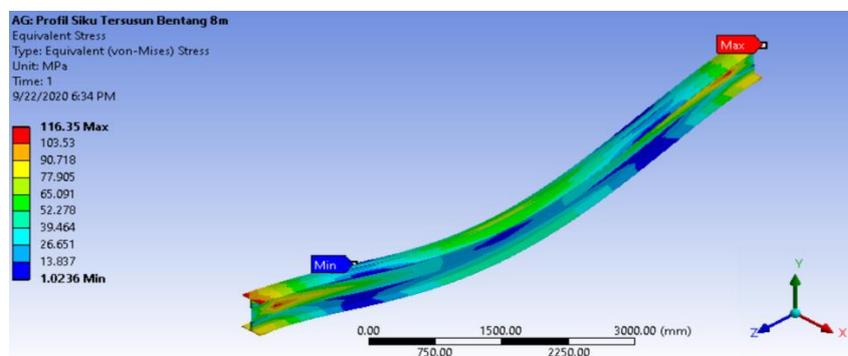
Gambar 4.9: Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 4m.

Pada Bentang 6m, balok siku tersusun terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 77,922 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.10.



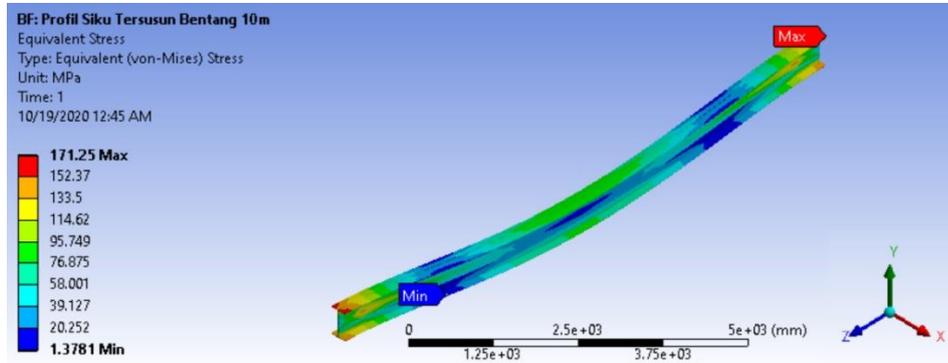
Gambar 4.10: Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 6m.

Pada Bentang 8m, balok siku tersusun terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 116,35 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11: Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 8m.

Pada Bentang 10m, balok siku tersusun terjadi tegangan maksimum di ujung bentang sebesar 171,25 MPa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.12.



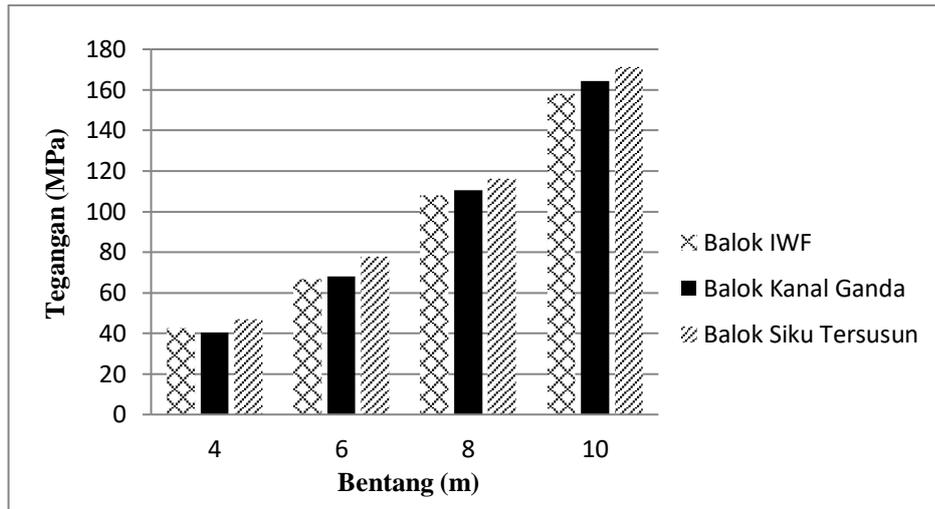
Gambar 4.12: Tegangan yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 10m.

4.1.1.4 Perbandingan Hasil Analisis Tegangan Linear Pada Balok

Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.13 dibawah ini merupakan diagram perbandingan hasil analisis tegangan linear yang terjadi pada balok.

Tabel 4.1: Perbandingan tegangan linear pada balok.

Tegangan pada Ujung Bentang (MPa)		Profil IWF	Profil Kanal Ganda	Profil Siku Tersusun
Beban (kN/m)		54,97		
Bentang (m)	4	42.509	40.443	46.926
	6	66.902	68.203	77.922
	8	108.13	110.54	116.35
	10	158.05	164.50	171.25



Gambar 4.13: Diagram perbandingan hasil analisis tegangan linear pada balok.

Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.13 dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan maksimum pada ujung balok berbanding lurus dengan bertambahnya bentang balok. Berdasarkan model balok dengan beban yang sama, balok IWF memiliki tegangan maksimum terkecil sebesar 158,05 MPa sedangkan pada balok kanal ganda sebesar 164,50 MPa dan balok siku tersusun sebesar 171,25 MPa. Dikarenakan modulus penampang profil IWF lebih besar dari modulus penampang profil kanal ganda dan siku tersusun. Modulus penampang yang lebih besar dapat mengecilkan tegangan yang terjadi.

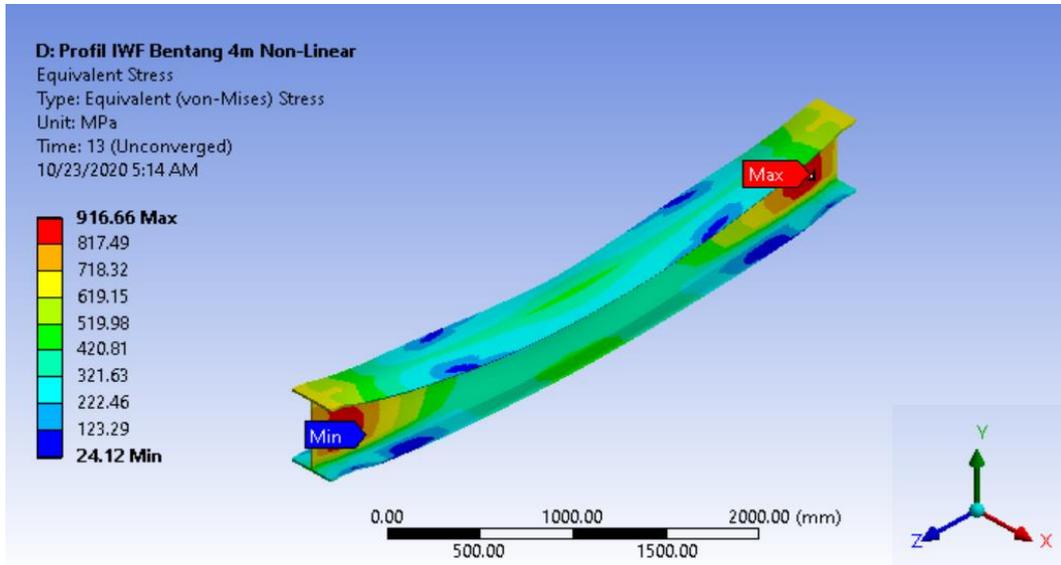
4.1.2 Analisis Tegangan Non-Linear

Tegangan yang di analisis disesuaikan dengan batasan dari mutu baja. Mutu baja yang digunakan dalam analisis balok ini ialah BJ-41 dengan kuat leleh (f_y) sebesar 250 MPa dan kuat ultimate (f_u) sebesar 410 MPa. Pembebanan diberikan dengan beban monotonik yaitu dengan bertahap dan berhenti saat terjadi plastis dan runtuh. Beban diberikan dengan kelipatan 500 kN dan dibatasi hingga 4000 kN agar perbandingan grafik dapat dilihat.

4.1.2.1 Balok IWF

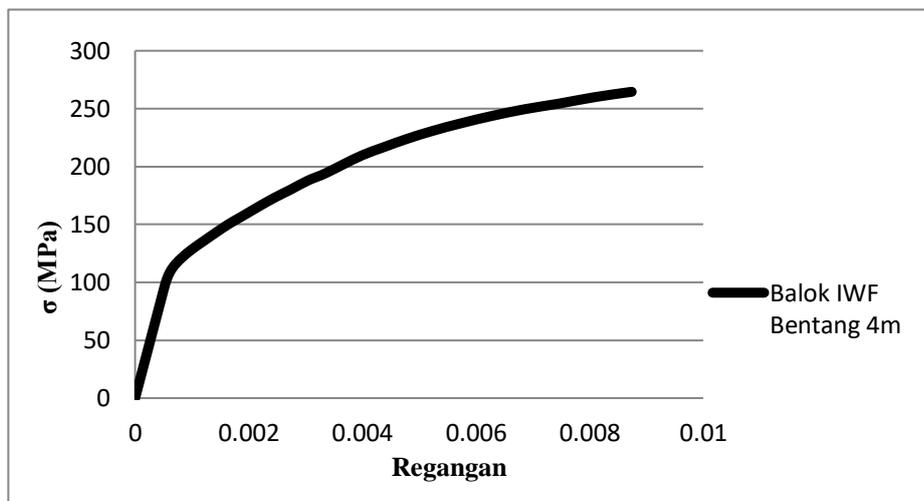
Pada Gambar 4.14 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok IWF bentang 4m dengan beban monotonik yang mampu ditahan mencapai 4000

kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan.



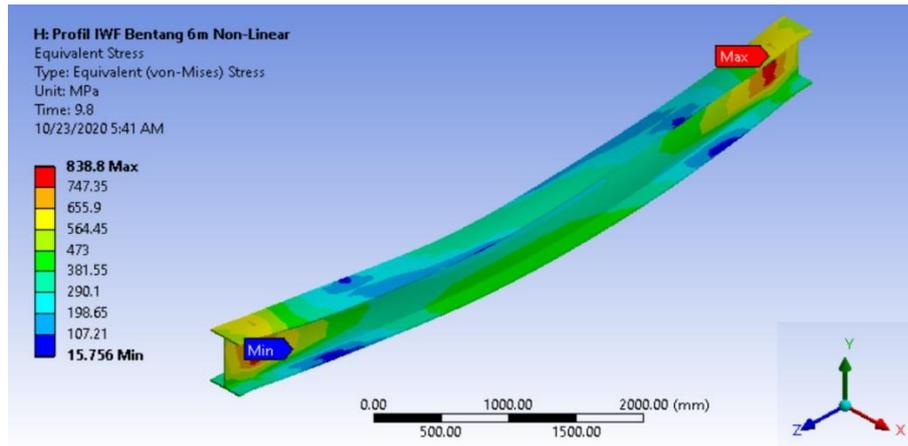
Gambar 4.14: Tegangan non-linear pada balok IWF bentang 4m.

Pada Gambar 4.15 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok IWF dengan bentang 4m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 102,64 MPa dan mengalami plastis dari 102,64 MPa hingga 426,57 MPa. Batas nilai tegangan rata-rata ini diambil berdasarkan dari kemampuan balok dalam menahan beban merata. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



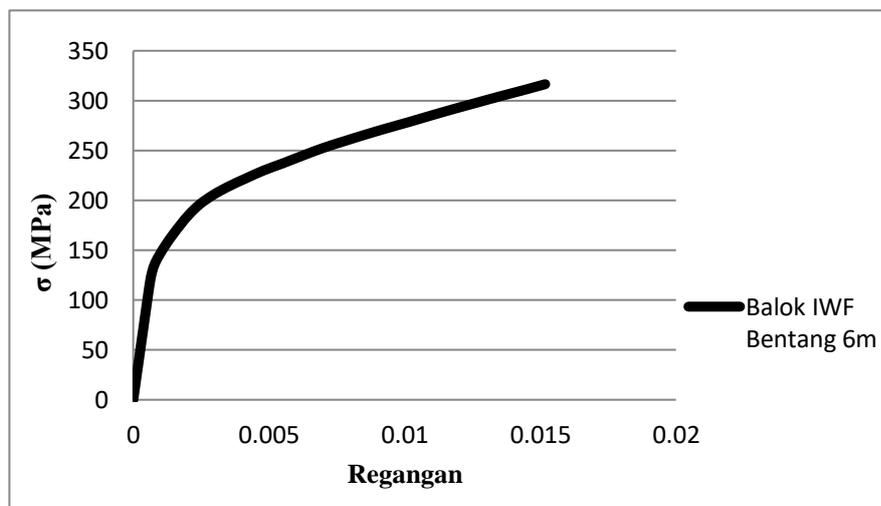
Gambar 4.15: Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 4m.

Pada Gambar 4.16 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok IWF bentang 6m dengan beban monotonik yang mampu ditahan mencapai 4000 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



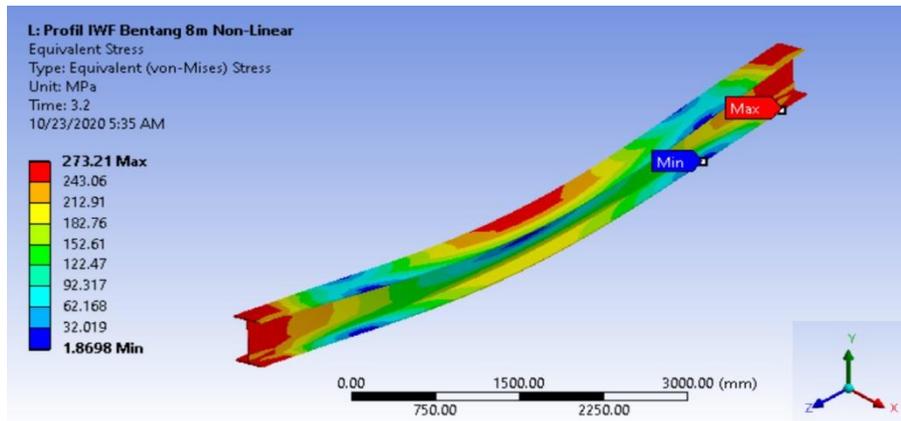
Gambar 4.16: Tegangan non-linear yang terjadi pada balok IWF bentang 6m.

Pada gambar 4.17 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok IWF dengan bentang 6m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 127,94 MPa dan mengalami plastis dari 127,94 MPa hingga 316,47 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



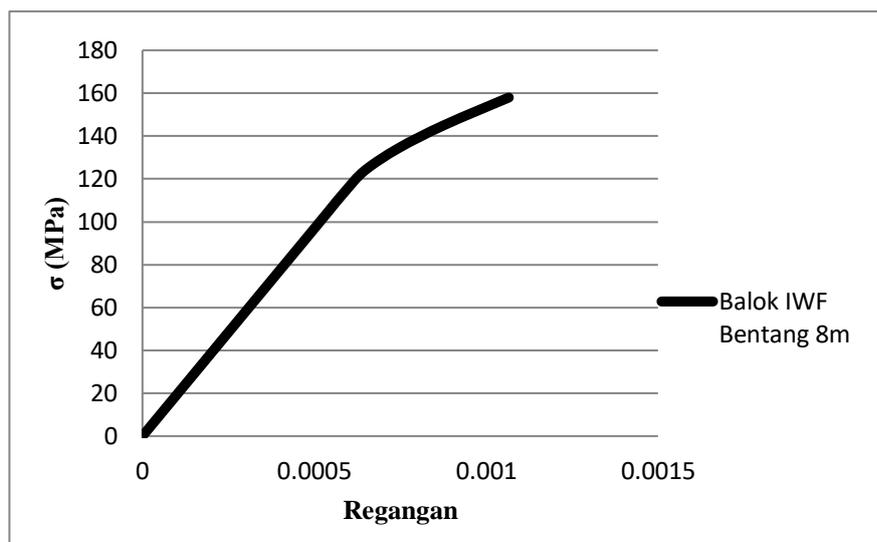
Gambar 4.17: Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 6m.

Pada Gambar 4.18 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok IWF bentang 8m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 2000 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



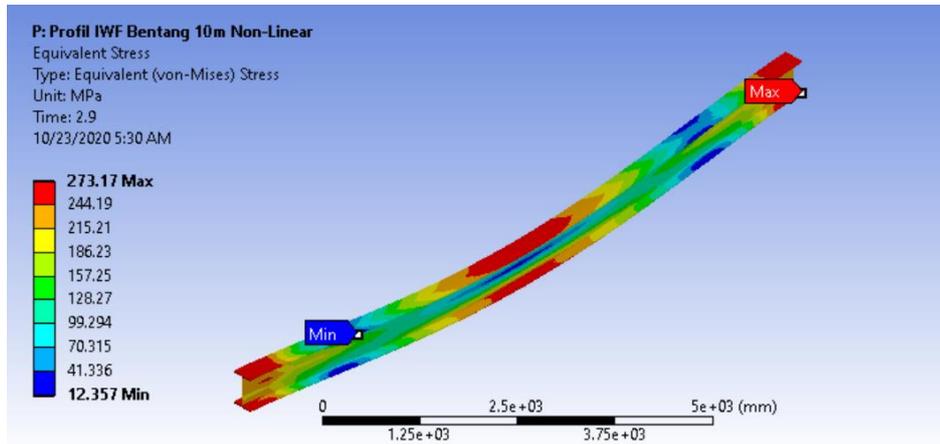
Gambar 4.18: Tegangan non-linear yang terjadi pada balok IWF bentang 8m.

Pada gambar 4.19 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok IWF dengan bentang 8m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 123,95 MPa dan mengalami plastis dari 123,95 MPa hingga 157,98 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



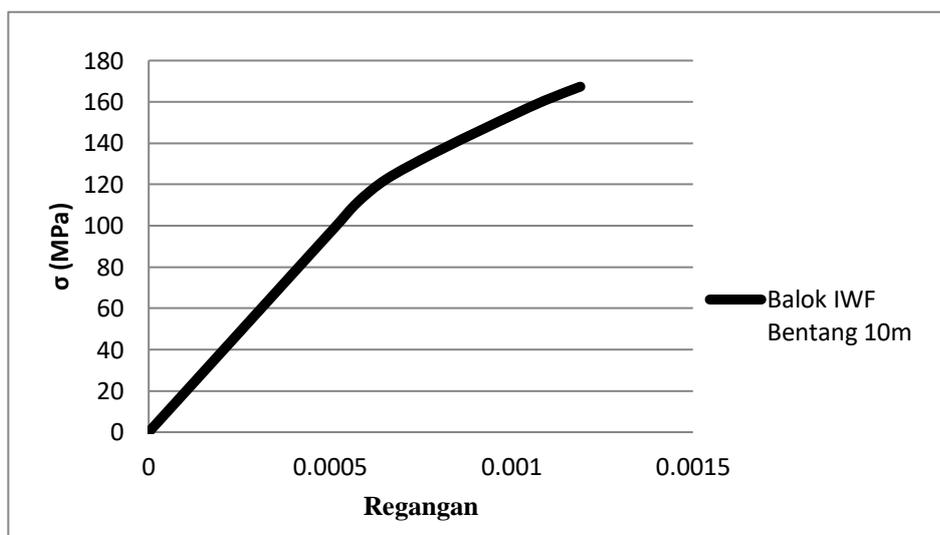
Gambar 4.19: Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 8m.

Pada Gambar 4.20 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok IWF bentang 10m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 1450 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



Gambar 4.20: Tegangan non-linear yang terjadi pada balok IWF bentang 10m.

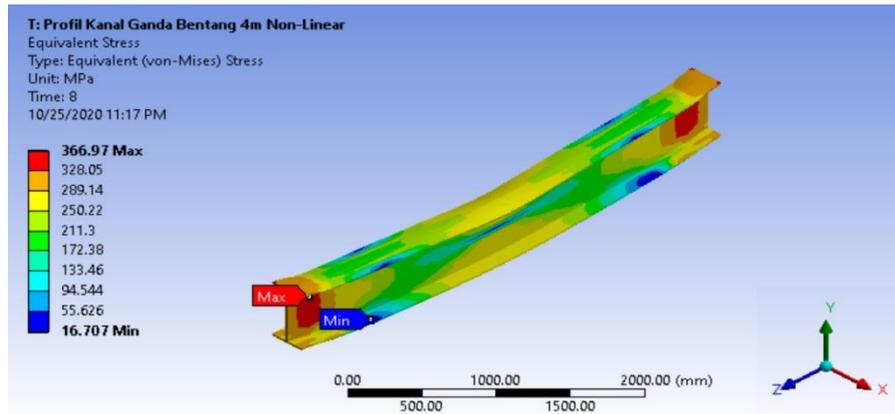
Pada gambar 4.21 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok IWF dengan bentang 10m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 111,49 MPa dan mengalami plastis dari 111,49 MPa hingga 167,37 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



Gambar 4.21: Grafik tegangan-regangan pada balok IWF bentang 10m.

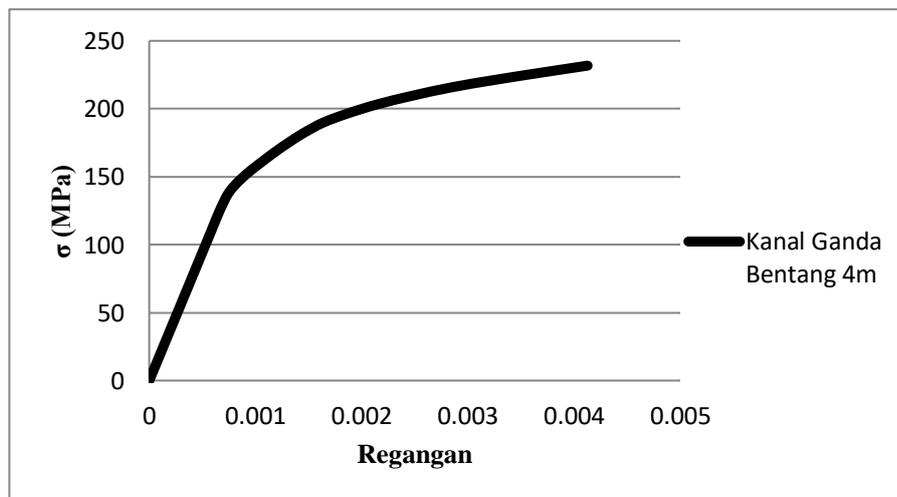
4.1.2.2 Balok Kanal Ganda

Pada Gambar 4.22 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 4m dengan beban monotonik yang mampu ditahan mencapai 4000 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



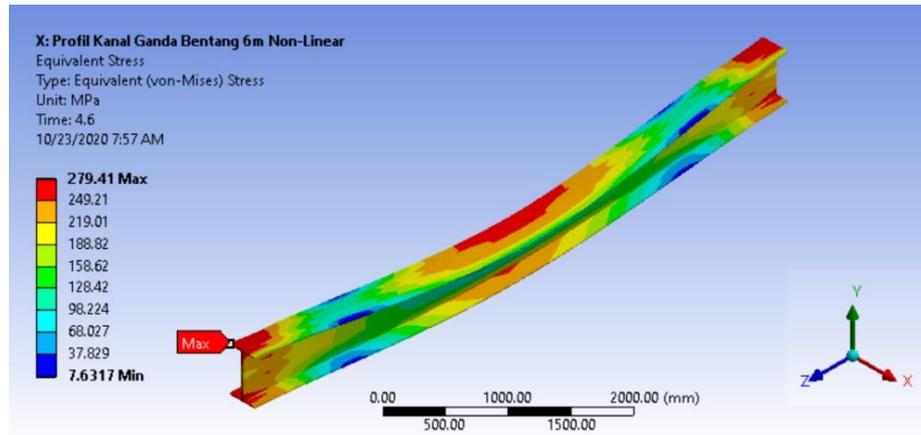
Gambar 4.22: Tegangan non-linear pada balok kanal ganda bentang 4m.

Pada Gambar 4.23 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok kanal ganda dengan bentang 4m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 137,58 MPa dan mengalami plastis dari 137,58 MPa hingga 231,76 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



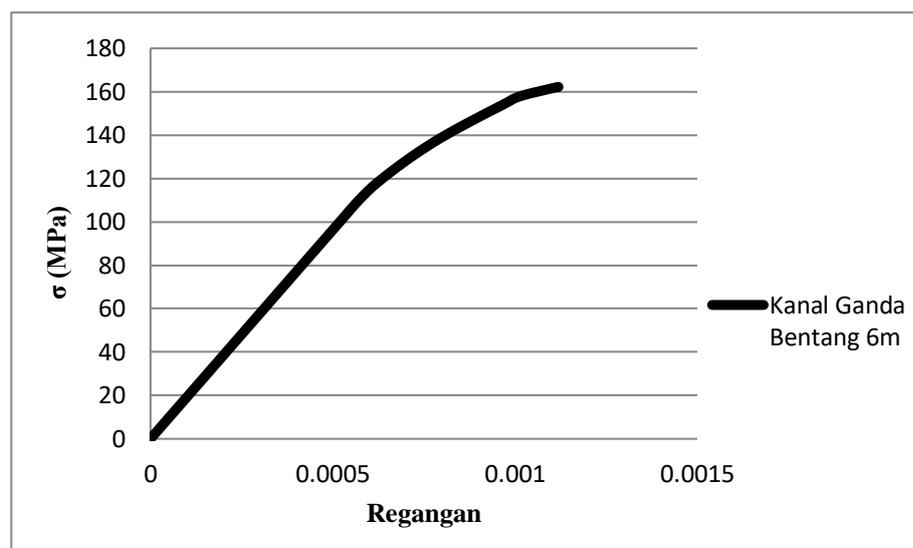
Gambar 4.23: Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 4m.

Pada Gambar 4.24 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 6m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 2300 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



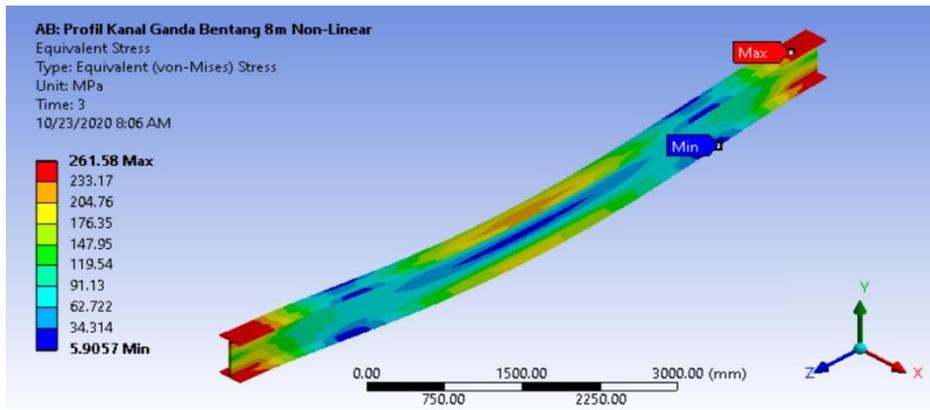
Gambar 4.24: Tegangan non-linear pada balok kanal ganda bentang 6m.

Pada Gambar 4.25 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok kanal ganda dengan bentang 6m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 116,08 MPa dan mengalami plastis dari 116,08 MPa hingga 162,24 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



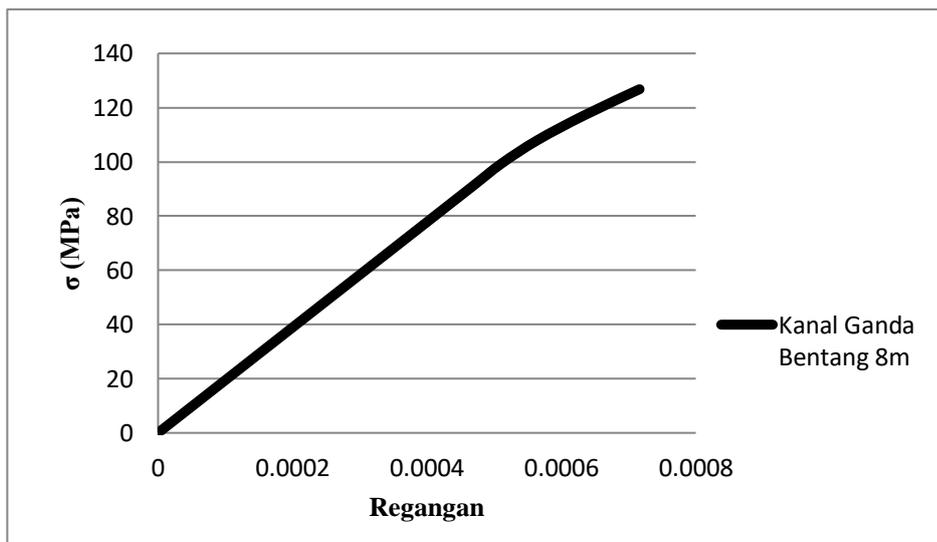
Gambar 4.25: Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 6m.

Pada Gambar 4.26 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 8m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 1500 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



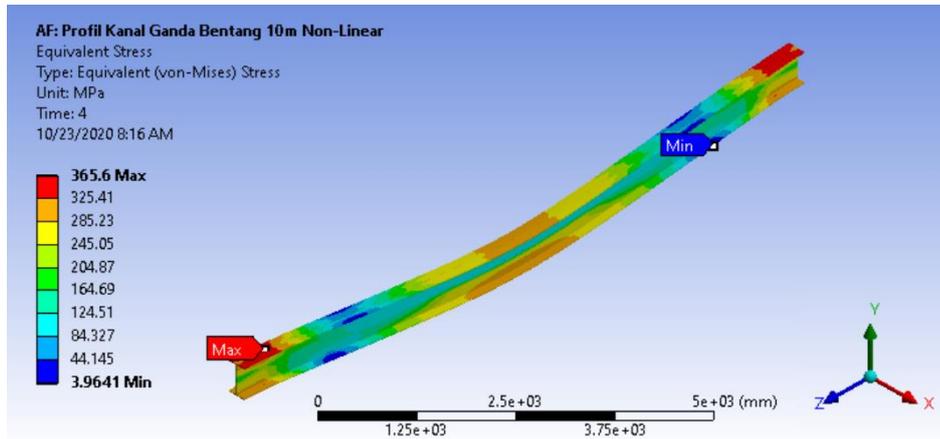
Gambar 4.26: Tegangan non-linear pada balok kanal ganda bentang 8m.

Pada gambar 4.27 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok kanal ganda dengan bentang 8m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 99,48 MPa dan mengalami plastis dari 99,48 MPa hingga 126,80 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



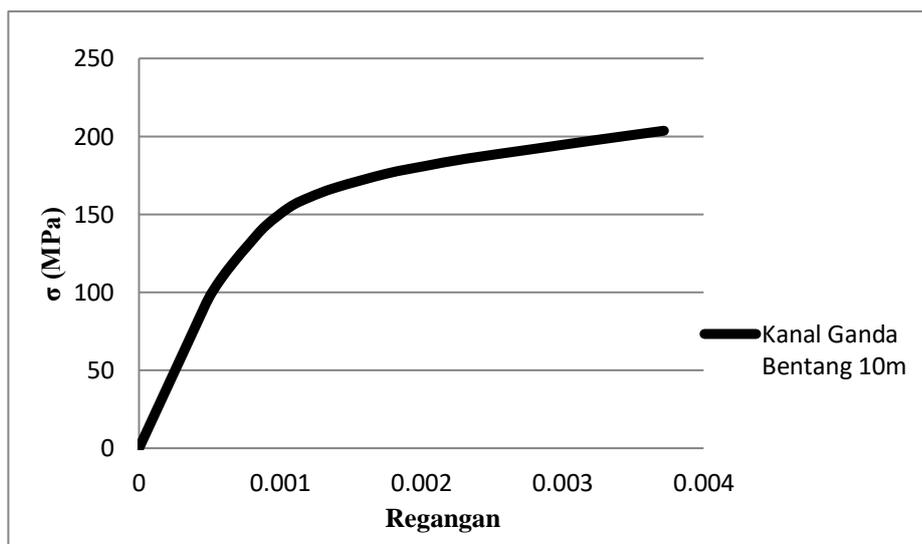
Gambar 4.27: Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 8m.

Pada Gambar 4.28 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok kanal ganda bentang 10m dengan beban monotonik yang mampu ditahan mencapai 2000 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



Gambar 4.28: Tegangan non-linear pada balok kanal ganda bentang 10m.

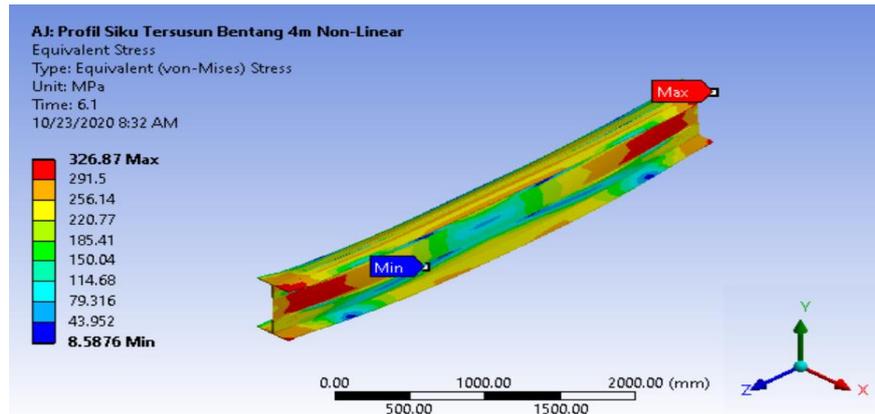
Pada Gambar 4.29 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok kanal ganda dengan bentang 10m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 97,40 MPa dan mengalami plastis dari 97,40 MPa hingga 203,62 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



Gambar 4.29: Grafik tegangan-regangan pada balok kanal ganda bentang 10m.

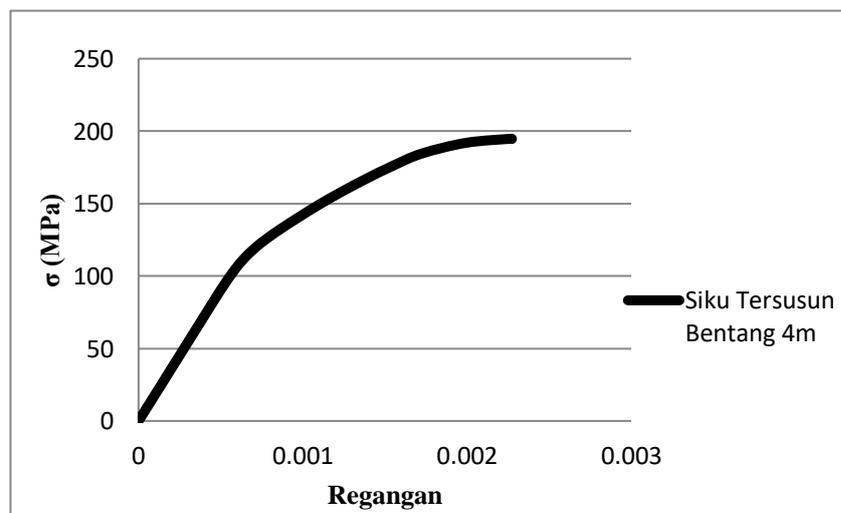
4.1.2.3 Balok Siku Tersusun

Pada Gambar 4.30 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 4m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 3050 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



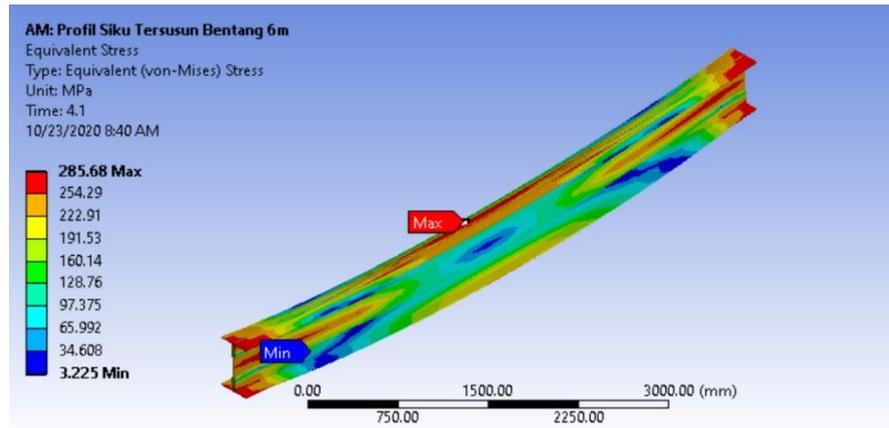
Gambar 4.30: Tegangan non-linear pada balok siku tersusun bentang 4m.

Pada Gambar 4.31 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok siku tersusun dengan bentang 4m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 106,22 MPa dan mengalami plastis dari 111,85 MPa hingga 194,80 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



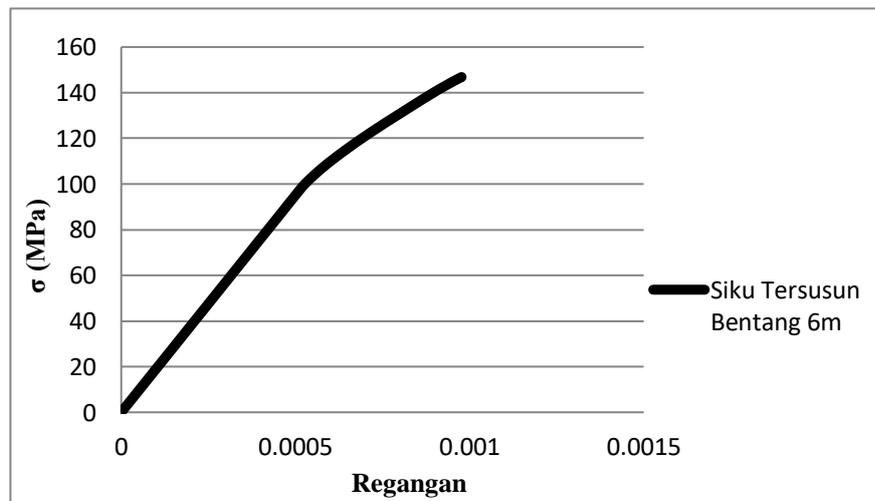
Gambar 4.31: Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 4m.

Pada Gambar 4.32 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 4m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 2050 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



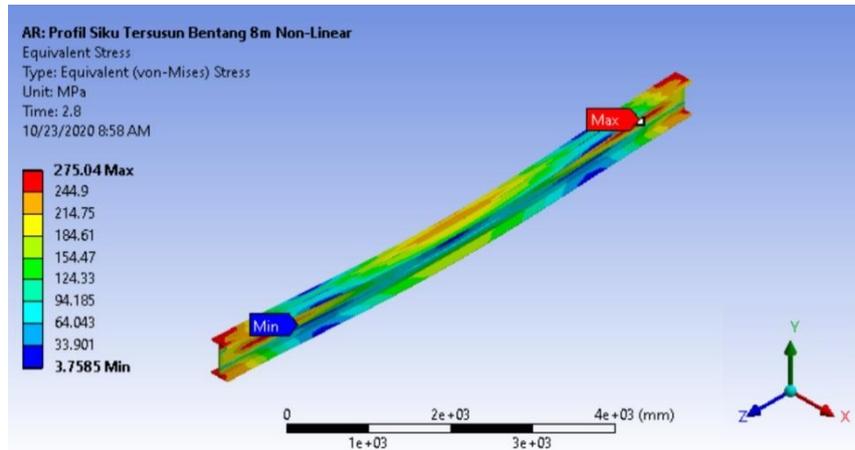
Gambar 4.32: Tegangan non-linear pada balok siku tersusun bentang 6m.

Pada Gambar 4.33 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok siku tersusun dengan bentang 4m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 100,14 MPa dan mengalami plastis dari 100,14 MPa hingga 146,86 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



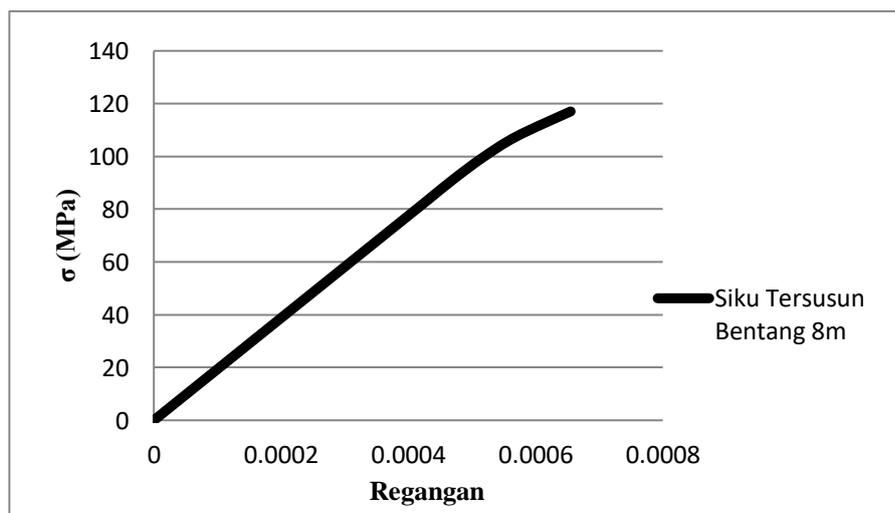
Gambar 4.33: Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 6m.

Pada Gambar 4.34 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 8m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 1400 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



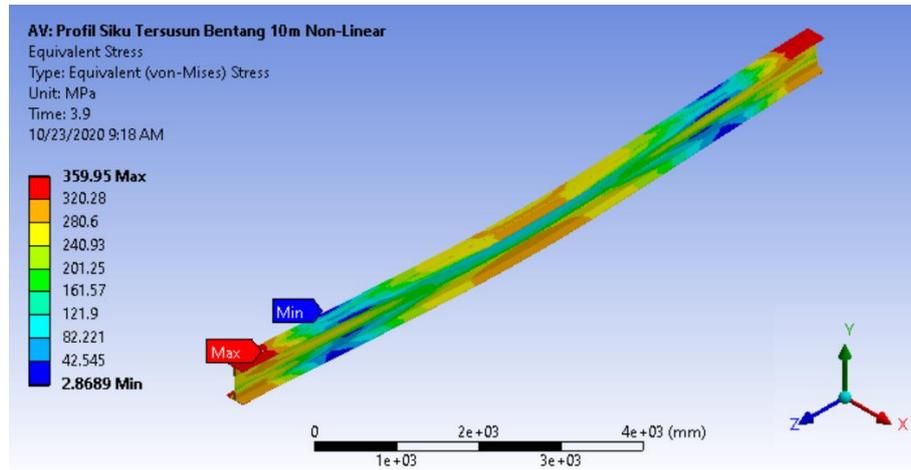
Gambar 4.34: Tegangan non-linear pada balok siku tersusun bentang 8m.

Pada Gambar 4.35 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok siku tersusun dengan bentang 4m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 99,60 MPa dan mengalami plastis dari 99,60 MPa hingga 117,04 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



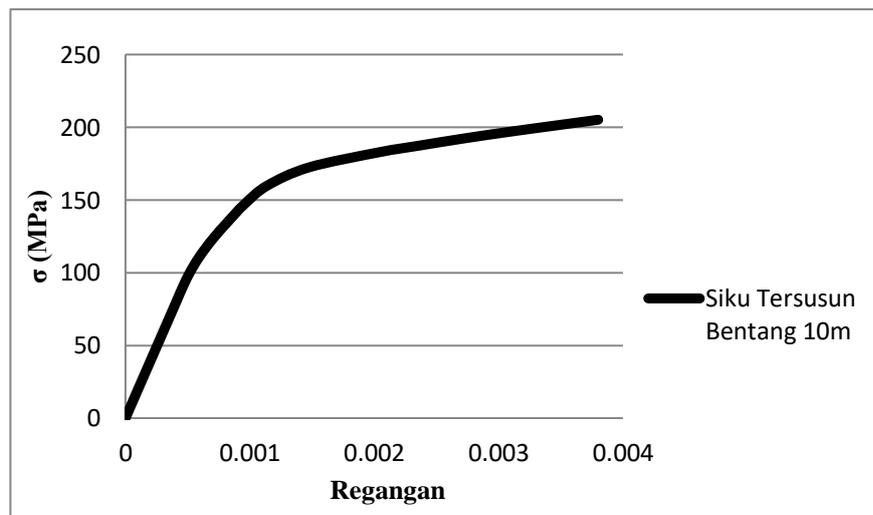
Gambar 4.35: Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 8m.

Pada Gambar 4.36 merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada balok siku tersusun bentang 4m dengan beban yang mampu ditahan mencapai 1950 kN. Diambil nilai tegangan rata-rata dari balok untuk mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan pada balok.



Gambar 4.36: Tegangan non-linear pada balok siku tersusun bentang 10m.

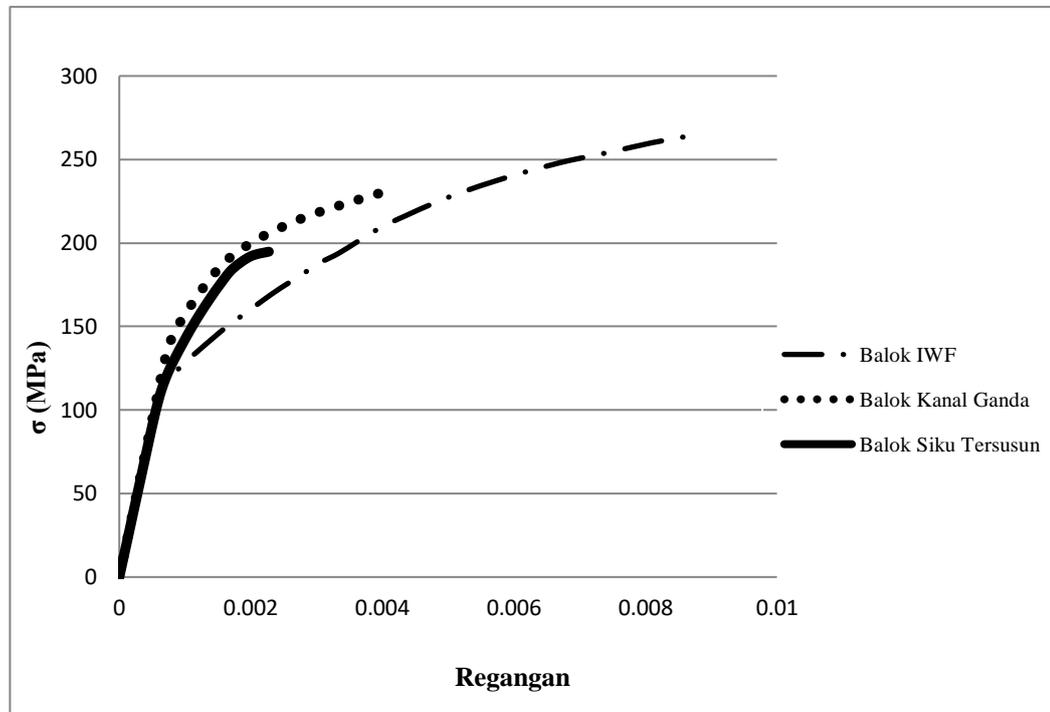
Pada Gambar 4.37 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi pada balok siku tersusun dengan bentang 4m mengalami elastis dari 0 MPa hingga 100,62 MPa dan mengalami plastis dari 100,62 MPa hingga 205,16 MPa. Untuk tabel nilai tegangan-regangan pada balok terdapat pada lampiran 2.



Gambar 4.37: Grafik tegangan-regangan pada balok siku tersusun bentang 10m.

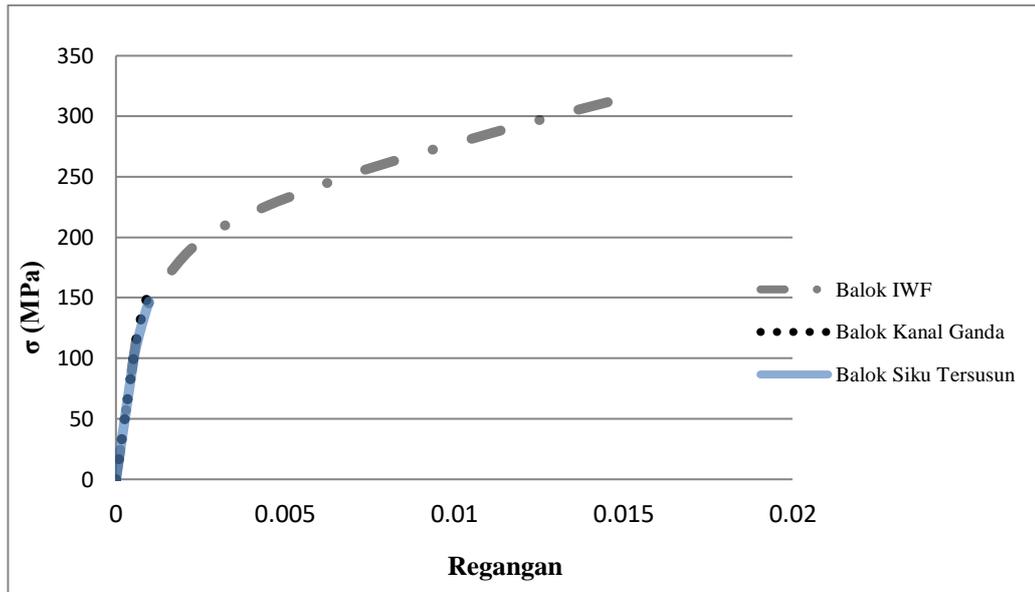
4.1.2.4 Perbandingan Analisis Tegangan Non-Linear terhadap Model

Perbandingan tegangan-regangan terhadap daktilitas berdasarkan model balok yang berbeda terdapat pada Gambar 4.38 sampai Gambar 4.41.



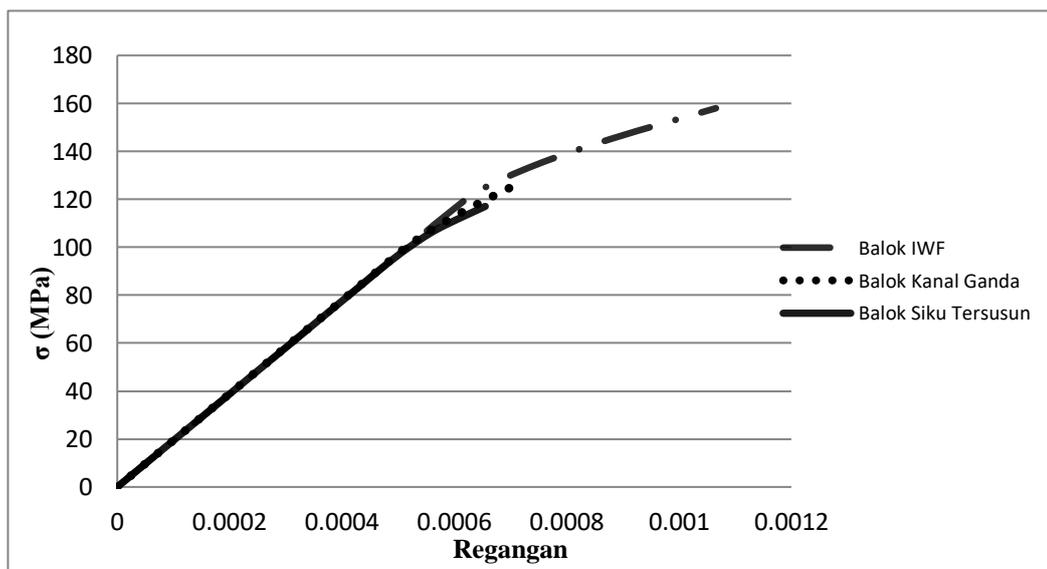
Gambar 4.38: Grafik Perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 4m.

Pada Gambar 4.38 dapat disimpulkan dari perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 4m, balok IWF memiliki daktilitas yang lebih besar yaitu sebesar 2,47 sedangkan pada balok kanal ganda sebesar 1,68 dan balok siku tersusun sebesar 1,83. Dikarenakan balok IWF bersifat homogen dan modulus penampang profil IWF lebih besar dari modulus penampang profil gabungan. Modulus penampang yang lebih besar dapat mengecilkan tegangan yang terjadi.



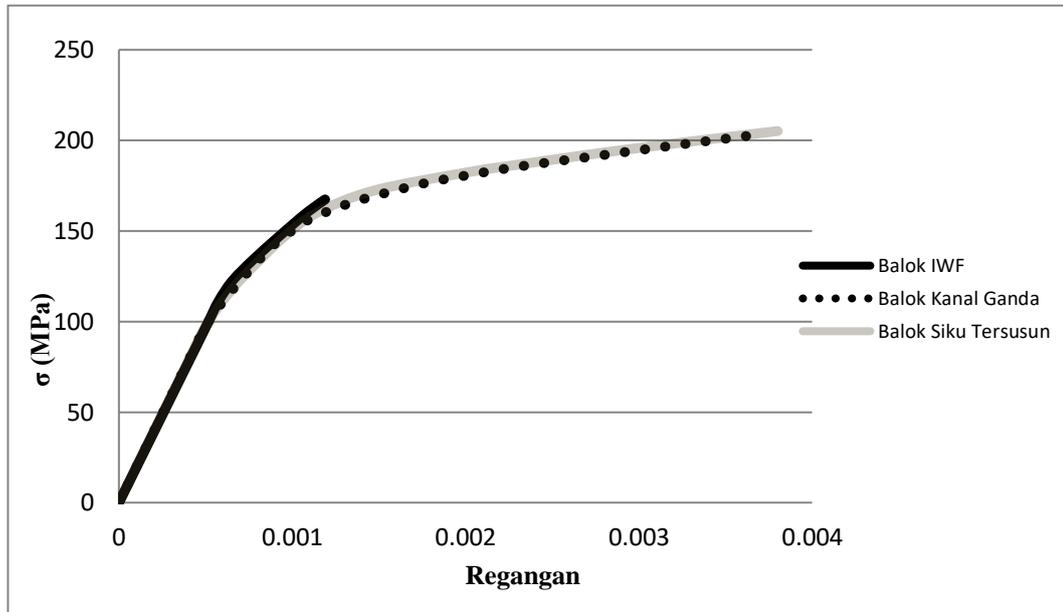
Gambar 4.39: Grafik perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 6m.

Pada Gambar 4.39 dapat disimpulkan dari perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 6m, balok IWF memiliki daktilitas yang lebih besar yaitu sebesar 2,47 sedangkan pada balok kanal ganda sebesar 1,40 dan balok siku tersusun sebesar 1,47. Dikarenakan balok IWF bersifat homogen dan modulus penampang profil IWF lebih besar dari modulus penampang profil gabungan. Modulus penampang yang lebih besar dapat mengecilkan tegangan yang terjadi.



Gambar 4.40: Grafik perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 8m.

Pada Gambar 4.40 dapat disimpulkan dari perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 8m, balok IWF memiliki daktilitas yang sama dengan balok kanal ganda yaitu sebesar 1,27 dan balok siku tersusun sebesar 1,18.

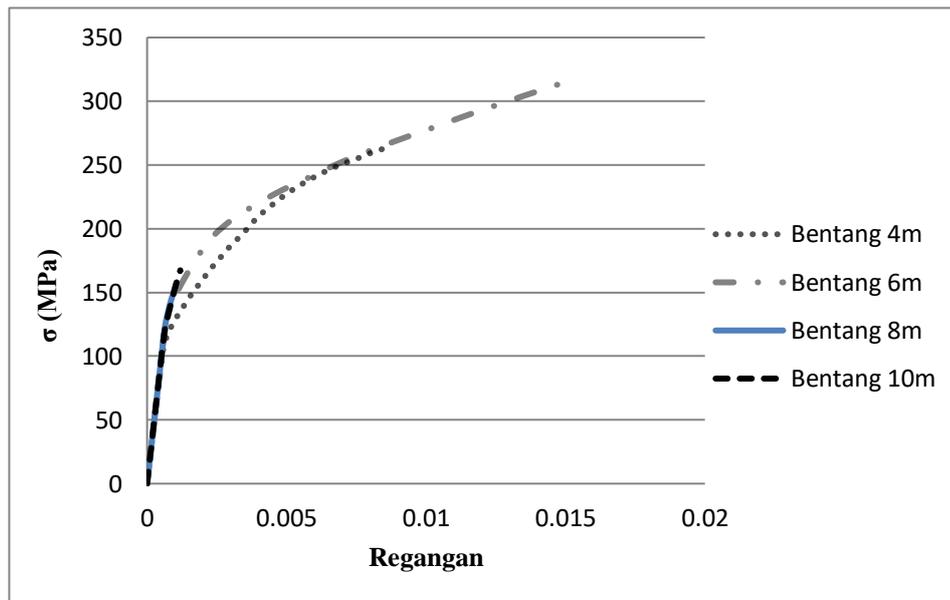


Gambar 4.41: Grafik perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 10m.

Pada Gambar 4.41 dapat disimpulkan dari perbandingan tegangan-regangan pada balok bentang 10m, balok IWF memiliki daktilitas yang lebih kecil yaitu sebesar 1,5 sedangkan pada balok kanal ganda sebesar 2,091 dan balok siku tersusun sebesar 2,039. Dikarenakan pada balok IWF telah mencapai titik ultimate dan pada balok kanal ganda dan siku tersusun ada terdapat yang tidak terdefiniskan sehingga mengalami leleh lebih besar.

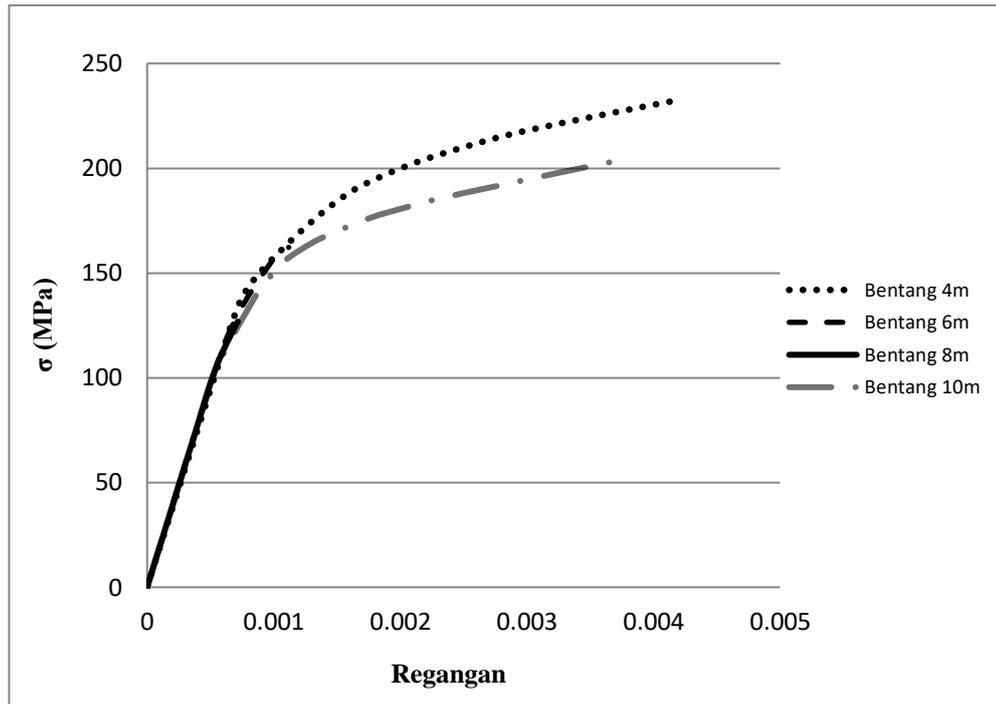
4.1.2.5 Perbandingan Analisis Tegangan Non-Linear terhadap Bentang

Perbandingan tegangan-regangan terhadap daktilitas berdasarkan variasi bentang balok pada setiap pemodelan balok terdapat pada Gambar 4.42 sampai Gambar 4.44



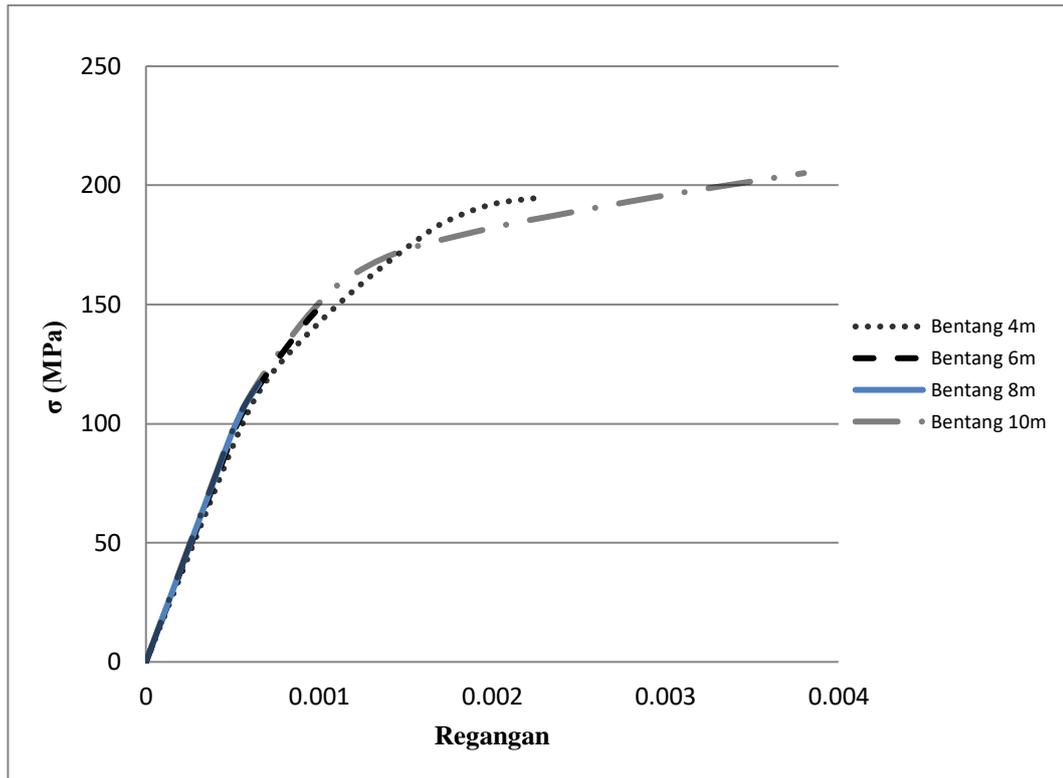
Gambar 4.42: Grafik perbandingan tegangan-regangan pada balok IWF.

Dari Gambar 4.42 dapat disimpulkan bahwa pada tegangan-regangan balok IWF dengan bertambahnya panjang bentang, daktilitas yang terjadi menurun, untuk bentang 4m sebesar 2.47, untuk bentang 6m sebesar 2.47, untuk bentang 8m sebesar 1.27 dan untuk bentang 10m sebesar 1.50. Hal ini dikarenakan semakin bertambah panjang bentang maka penampang semakin langsing sehingga tidak mampu menahan deformasi dan menimbulkan tekuk.



Gambar 4.43: Grafik perbandingan tegangan-regangan pada balok kanal ganda.

Dari Gambar 4.43 dapat disimpulkan bahwa pada tegangan-regangan balok kanal ganda dengan bertambahnya panjang bentang, daktilitas yang terjadi turun naik, untuk bentang 4m sebesar 1.68, untuk bentang 6m sebesar 1.40, untuk bentang 8m sebesar 1.27 dan untuk bentang 10m sebesar 2.09. Hal ini dikarenakan pada bentang 10m terdapat yang tidak terdefinisikan pada program analisis sehingga kondisi leleh lebih besar.



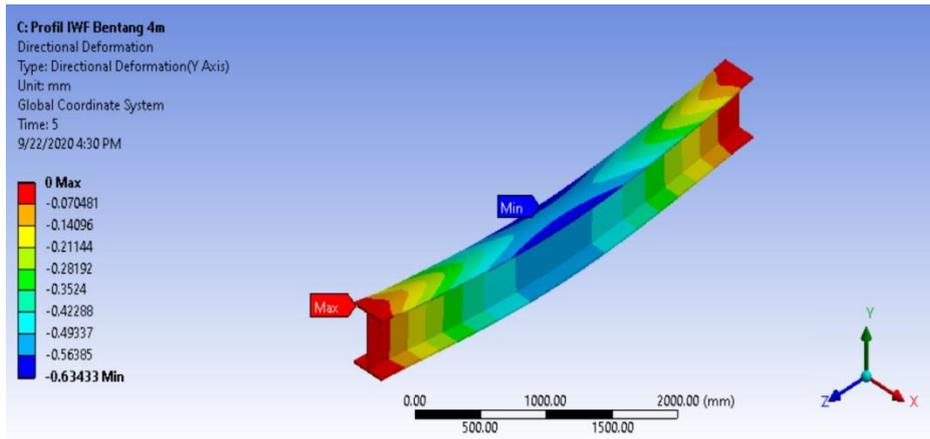
Gambar 4.44: Grafik perbandingan tegangan-regangan pada balok siku tersusun.

Dari Gambar 4.44 dapat disimpulkan bahwa pada tegangan-regangan balok kanal ganda dengan bertambahnya panjang bentang, daktilitas yang terjadi turun naik, untuk bentang 4m sebesar 1.83, untuk bentang 6m sebesar 1.47, untuk bentang 8m sebesar 1.18 dan untuk bentang 10m sebesar 2.04. Hal ini dikarenakan pada bentang 10m terdapat yang tidak terdefiniskan pada program.

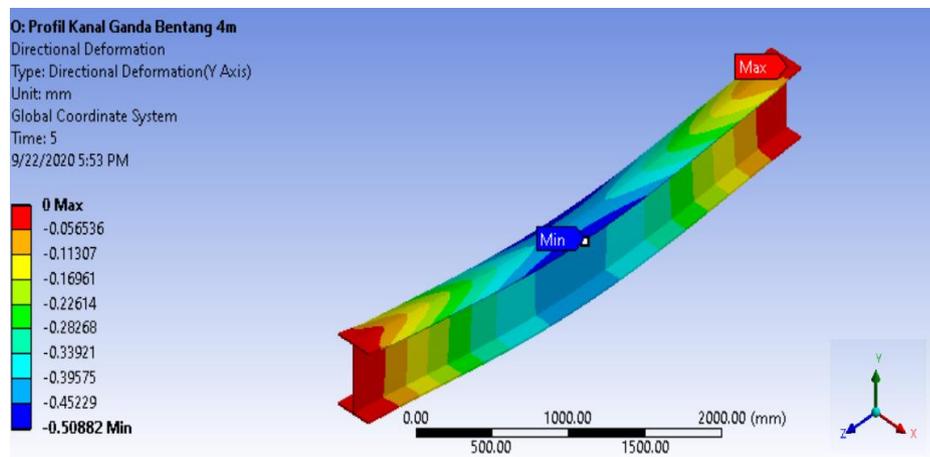
4.2 Hasil Analisis Deformasi Pada Balok

4.2.1 Analisis Deformasi Linear pada Balok

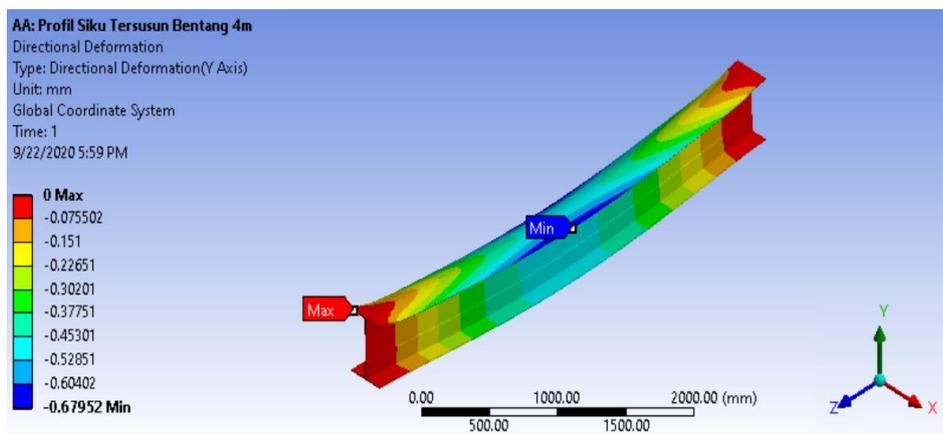
Dibawah ini merupakan deformasi yang terjadi pada tiap model balok serta perhitungan yang di dapat dari program analisis metode elemen hingga. Dapat dilihat pada gambar 4.45, gambar 4.46 dan gambar 4.47 serta tabel 4.2. Pada setiap pemodelan balok memiliki variasi bentang yaitu 4m, 6m, 8m dan 10m. Besarnya deformasi yang ditampilkan tidak menunjukkan skala yang sebenarnya. Skala deformasi diperlebih-lebihkan agar dapat menunjukkan bentuk deformasi.



Gambar 4.45: Deformasi pada balok IWF bentang 4m.



Gambar 4.46: Deformasi pada balok kanal ganda bentang 4m.



Gambar 4.47: Deformasi pada balok siku tersusun bentang 4m.

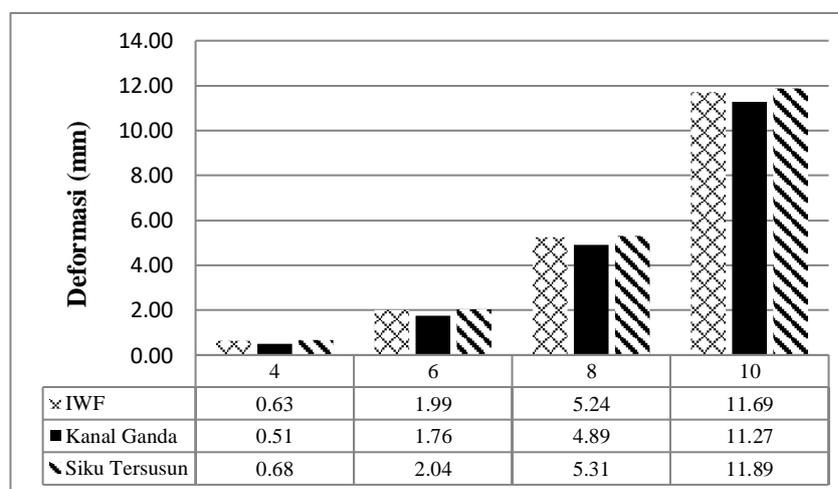
Berdasarkan hasil perhitungan dari program analisis metode elemen hingga, berikut nilai dari deformasi yang terjadi pada balok terhadap variasi bentang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Nilai deformasi pada tiap model balok.

Balok	Bentang (m)	Deformasi (mm)	Δ_{max} (mm)	Cek
IWF	4	0.634	11.112	OK
	6	1.992	16.667	OK
	8	5.242	22.223	OK
	10	11.69	27.778	OK
KANAL GANDA	4	0.508	11.112	OK
	6	1.756	16.667	OK
	8	4.893	22.223	OK
	10	11.27	27.778	OK
SIKU TERSUSUN	4	0.679	11.112	OK
	6	2.037	16.667	OK
	8	5.314	22.223	OK
	10	11.888	27.778	OK

4.2.1.1 Perbandingan Analisis Deformasi Linear

Pada Gambar 4.48 dibawah ini merupakan diagram perbandingan hasil analisis deformasi pada balok.

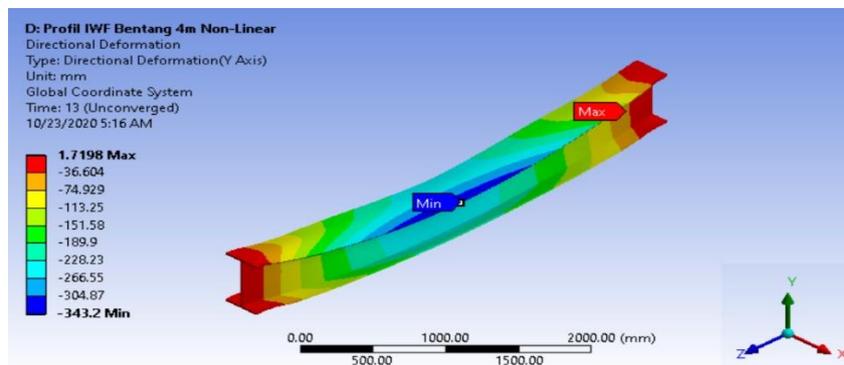


Gambar 4.48: Diagram perbandingan deformasi pada balok.

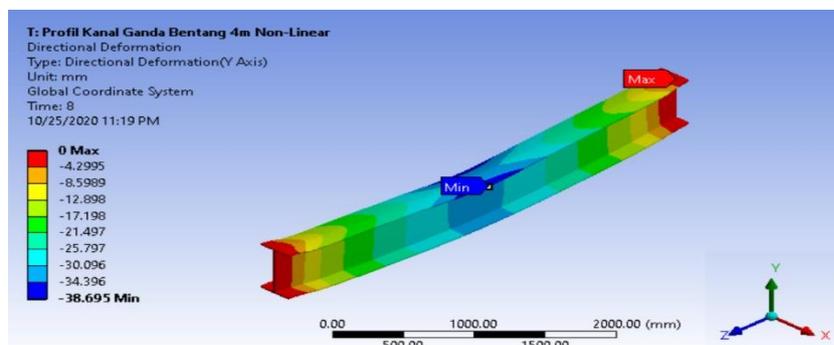
Dari Gambar 4.48 dapat disimpulkan bahwa pada beban yang sama, deformasi terkecil terjadi pada balok kanal ganda yaitu sebesar 11,27 mm sedangkan pada balok IWF sebesar 11,69 mm. dan dan balok siku tersusun sebesar 11,89 mm. Perbandingan terhadap variasi bentang balok dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah panjangnya bentang balok maka semakin besar deformasi yang terjadi.

4.2.2 Analisis Deformasi Non-Linear

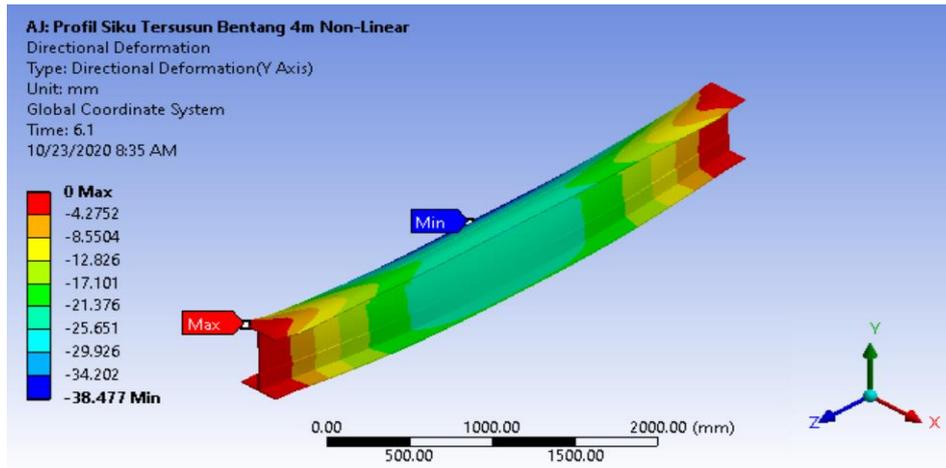
Dibawah ini merupakan deformasi yang terjadi pada balok IWF, balok kanal ganda dan balok siku tersusun. Pada setiap pemodelan balok memiliki variasi bentang yaitu 4m, 6m, 8m dan 10m. Perhitungan yang di dapat dari program analisis metode elemen hingga. Deformasi yang terjadi apat dilihat pada Gambar 4.49, Gambar 4.50 dan Gambar 4.51. Hasil analisis hubungan gaya terhadap deformasi pada balok dijelaskan pada sub bab 4.2.2.1 dan 4.2.2.2.



Gambar 4.49: Deformasi pada balok IWF bentang 4m.



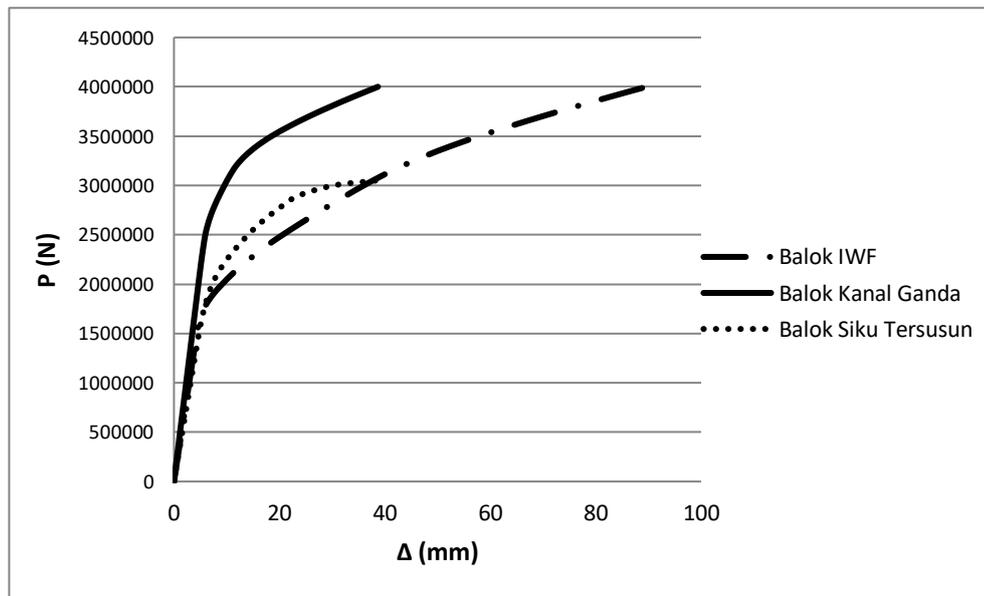
Gambar 4.50: Deformasi pada balok IWF bentang 4m.



Gambar 4.51: Deformasi pada balok Siku tersusun bentang 4m.

4.2.2.1 Perbandingan Analisis Deformasi Non-Linear terhadap Model

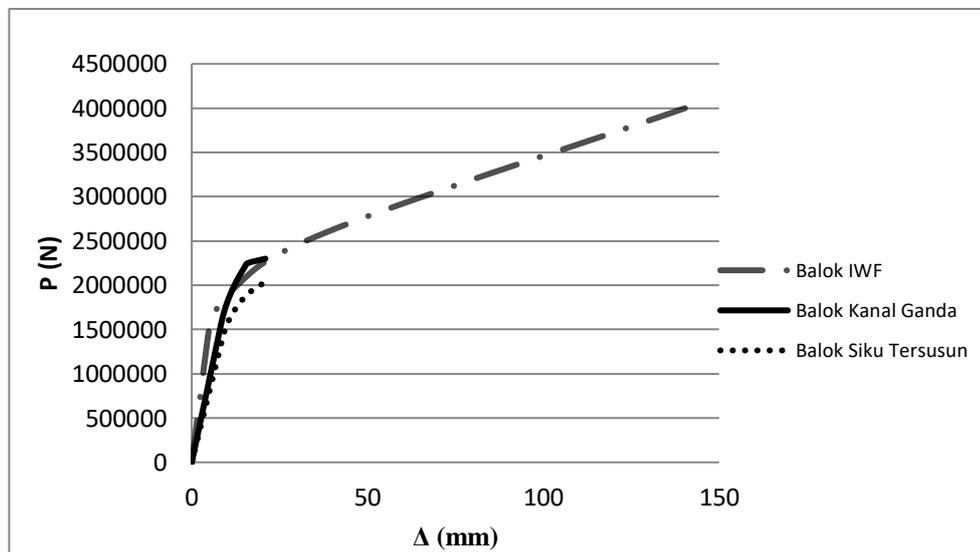
Analisis deformasi pada balok dilakukan dengan membandingkan balok profil IWF dengan balok profil kanal ganda dan profil siku tersusun pada setiap variasi bentang balok. Perbandingan nilai deformasi terhadap beban monotonik yang diberikan secara bertahap-tahap dapat dilihat pada Gambar 4.52 sampai Gambar 4.55.



Gambar 4.52: Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 4m.

Pada Gambar 4.52 deformasi yang terjadi pada balok IWF sebesar 89.62 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 4000 kN. Pada balok kanal ganda, deformasi yang terjadi sebesar 38.70 mm dengan beban mencapai 4000 kN dan pada balok siku tersusun sebesar 38.48 mm dengan beban mencapai 3050 kN.

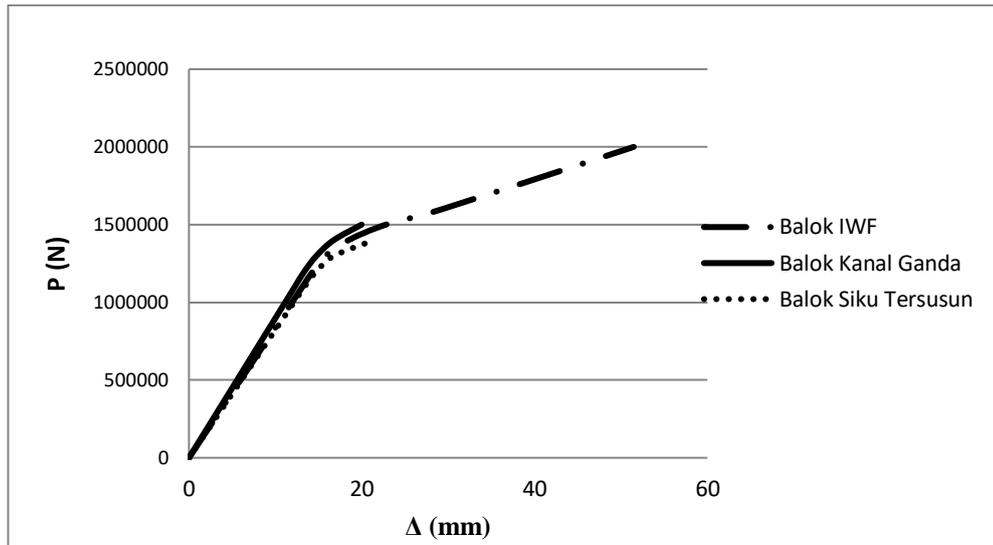
Dapat disimpulkan pada beban yang sama bahwa balok kanal ganda memiliki nilai deformasi terkecil dan deformasi terbesar terjadi pada balok siku tersusun. Namun balok IWF mempunyai kapasitas yang besar terhadap gaya yang ditahan sehingga mampu berdeformasi lebih besar sebelum akhirnya mengalami kelelahan. Nilai beban terhadap deformasi pada balok terdapat pada lampiran 3.



Gambar 4.53: Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 6m.

Pada Gambar 4.53 deformasi yang terjadi pada balok IWF sebesar 140.27 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 4000 kN. Pada balok kanal ganda, deformasi yang terjadi sebesar 20.95 mm dengan beban mencapai 2300 kN dan pada balok siku tersusun sebesar 22.31 mm dengan beban 2050 kN.

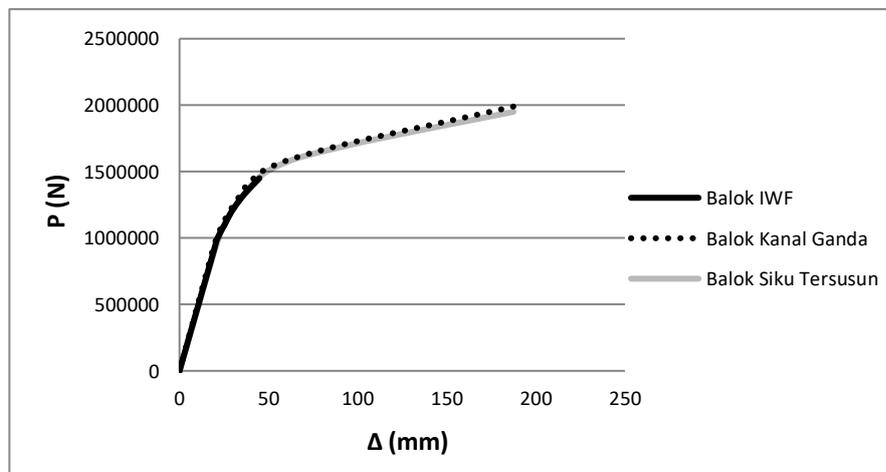
Dapat disimpulkan pada beban yang sama bahwa balok kanal ganda memiliki nilai deformasi terkecil dan deformasi terbesar terjadi pada balok siku tersusun. Namun balok IWF mempunyai kapasitas yang besar terhadap gaya yang ditahan sehingga mampu berdeformasi lebih besar sebelum akhirnya mengalami kelelahan. Nilai beban terhadap deformasi pada balok terdapat pada lampiran 3.



Gambar 4.54: Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 8m.

Pada Gambar 4.54 deformasi yang terjadi pada balok IWF sebesar 51.47 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 2000 kN. Pada balok kanal ganda, deformasi yang terjadi sebesar 19.98 mm dengan beban mencapai 1500 kN dan pada balok siku tersusun sebesar 21.44 mm dengan beban 1400 kN.

Dapat disimpulkan pada beban yang sama bahwa balok kanal ganda memiliki nilai deformasi terkecil dan deformasi terbesar terjadi pada balok siku tersusun. Namun balok IWF mempunyai kapasitas yang besar terhadap gaya yang ditahan sehingga mampu berdeformasi lebih besar sebelum akhirnya mengalami kelelahan. Nilai beban terhadap deformasi pada balok terdapat pada lampiran 3.



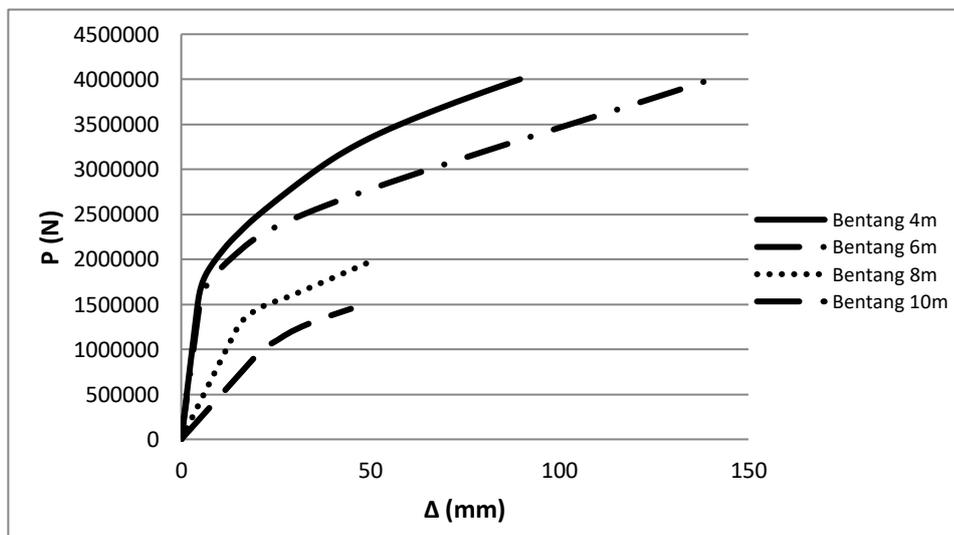
Gambar 4.55: Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok bentang 10m.

Pada Gambar 4.55 deformasi yang terjadi pada balok IWF sebesar 44.88 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 1450 kN. Pada balok kanal ganda, deformasi yang terjadi sebesar 190.87 mm dengan beban mencapai 2000 kN dan pada balok siku tersusun sebesar 187.44 mm dengan beban 1950 kN.

Pada beban yang sama, dapat disimpulkan bahwa balok kanal ganda memiliki nilai deformasi terkecil dan deformasi terbesar terjadi pada balok siku tersusun. Namun balok kanal ganda dan siku tersusun pada bentang 10 terdapat definisi yang tidak terdefinisikan oleh program.

4.2.2.2 Perbandingan Analisis Deformasi Non-Linear terhadap Bentang

Analisis deformasi pada setiap pemodelan balok dilakukan dengan variasi bentang 4m, 6m, 8m dan 10m. Perbandingan nilai deformasi terhadap beban monotonik yang diberikan secara bertahap-tahap dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

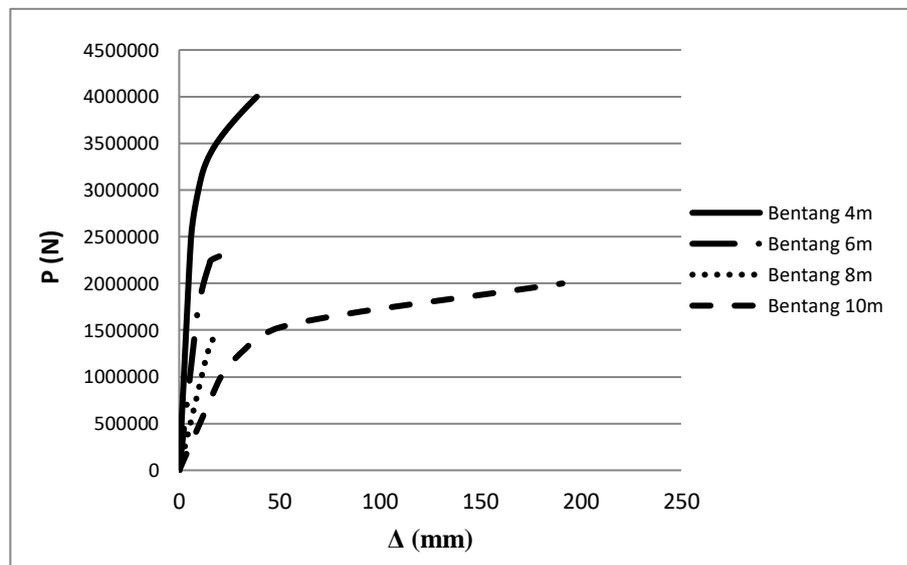


Gambar 4.56: Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok IWF.

Pada Gambar 4.56 dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah panjang bentang balok maka semakin berkurang kapasitas gaya yang dapat ditahan balok tersebut sebelum hingga akhirnya mengalami kelelahan dan mempunyai ketahanan yang rendah terhadap deformasi yang terjadi. Dikarenakan semakin

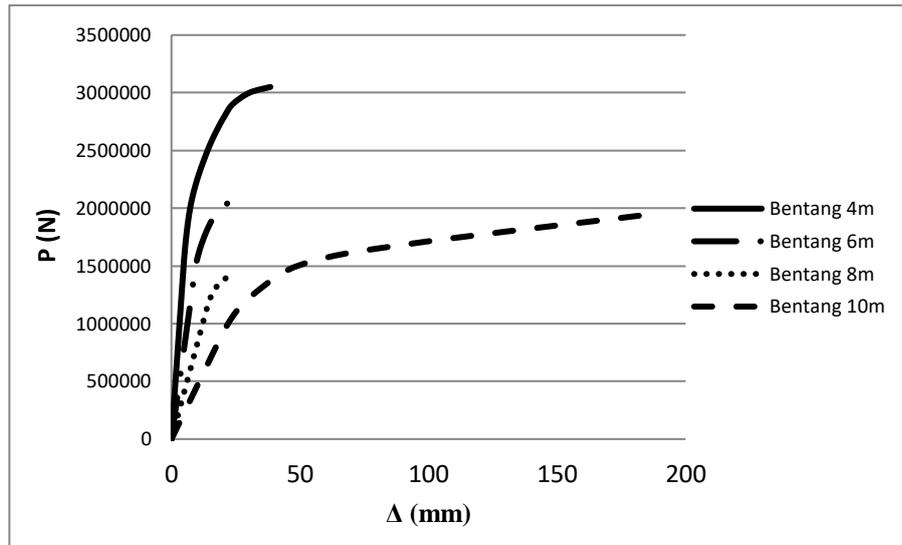
panjang bentang balok, profil balok menjadi langsing dan terjadi keruntuhan akibat tekuk (buckling).

Pada bentang 4m, deformasi yang terjadi sebesar 89.62 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 4000 kN, pada bentang 6m deformasi sebesar 140.27 mm dengan beban 4000 kN, pada bentang 8m deformasi sebesar 51,47 mm dengan beban 2000 kN dan pada bentang 10m deformasi sebesar 44.88 mm dengan beban 1450 kN. Pada bentang 4m dan 6m dapat mencapai beban yang sama dikarenakan beban monotonik yang dibatasi yaitu sebesar 4000 kN.



Gambar 4.57: Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok kanal ganda.

Pada Gambar 4.57 deformasi yang terjadi pada bentang 4m sebesar 38.70 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 4000 kN, bentang 6m sebesar 20.95 mm dengan beban mencapai 2300 kN, bentang 8m sebesar 19.98 mm dengan beban mencapai 1500 kN dan pada bentang 10m sebesar 190.87 mm dengan beban mencapai 2000 kN. Ketahanan balok kanal ganda terhadap beban yang diberikan dan deformasi yang terjadi turun naik yaitu terjadi kenaikan pada bentang 10m. Dikarenakan struktur balok terjadi buckling pada beban 2000 kN dan terdapat definisi yang tidak terdefiniskan pada program sehingga mengalami deformasi begitu besar.

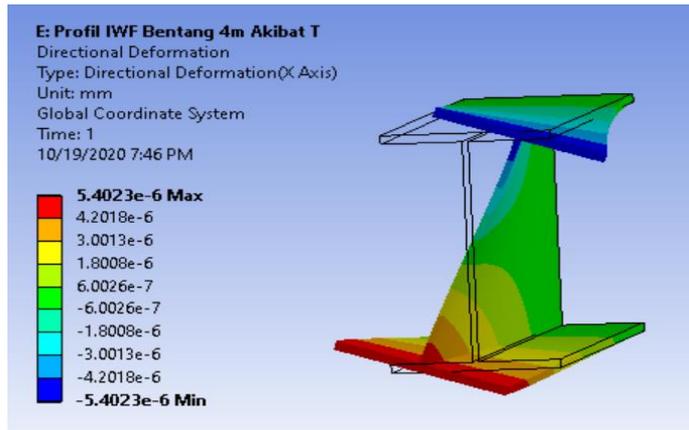


Gambar 4.58: Grafik hubungan beban dengan deformasi pada balok siku tersusun.

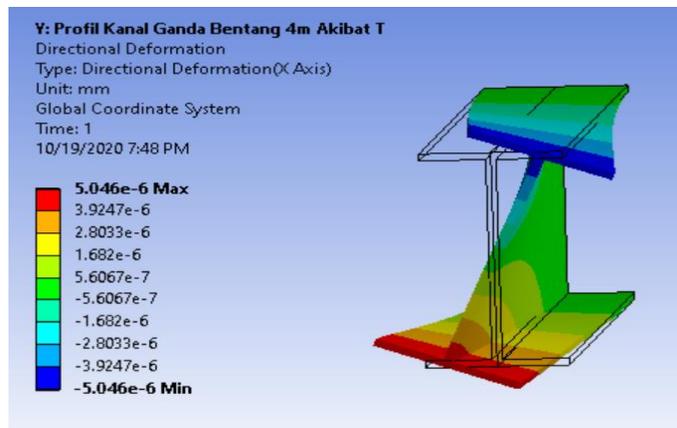
Pada Gambar 4.49 deformasi yang terjadi pada bentang 4m sebesar 38.48 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 3050 kN, bentang 6m sebesar 22.31 mm dengan beban 2050 kN, bentang 8m sebesar 21.44 mm dengan beban 1400 kN dan pada bentang 10m sebesar 187.44 mm dengan beban 1950 kN. Ketahanan balok siku tersusun terhadap beban yang diberikan dan deformasi yang terjadi turun naik yaitu terjadi kenaikan pada bentang 10m. Dikarenakan struktur balok terjadi buckling pada beban 1950 kN dan terdapat definisi yang tidak terdefiniskan pada program sehingga mengalami deformasi begitu besar.

4.3 Hasil Analisis Rotasi Akibat Torsi Pada Balok

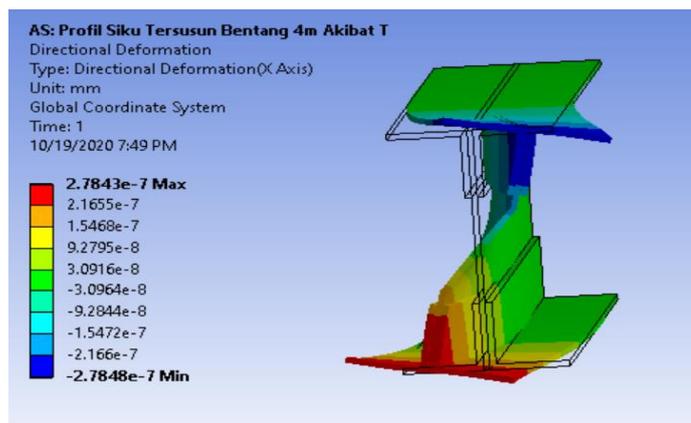
Dalam perencanaan balok ada beberapa perilaku diantaranya adalah torsi dimana balok akan mengalami deformasi akibat torsi dan terjadi rotasi. Torsi yang terjadi pada balok diperoleh nilainya dari hasil analisis pada program analisis struktur dapat dilihat pada sub bab 3.5.5. Dibawah ini merupakan rotasi yang terjadi pada tiap model balok serta perhitungan yang di dapat dari program analisis metode elemen hingga. Dapat dilihat pada Gambar 4.59, Gambar 4.60 dan Gambar 4.61 serta Tabel 4.3.



Gambar 4.59: Rotasi pada balok IWF bentang 4m.



Gambar 4.60: Rotasi pada balok kanal ganda bentang 4m.



Gambar 4.61: Rotasi pada balok siku tersusun bentang 4m.

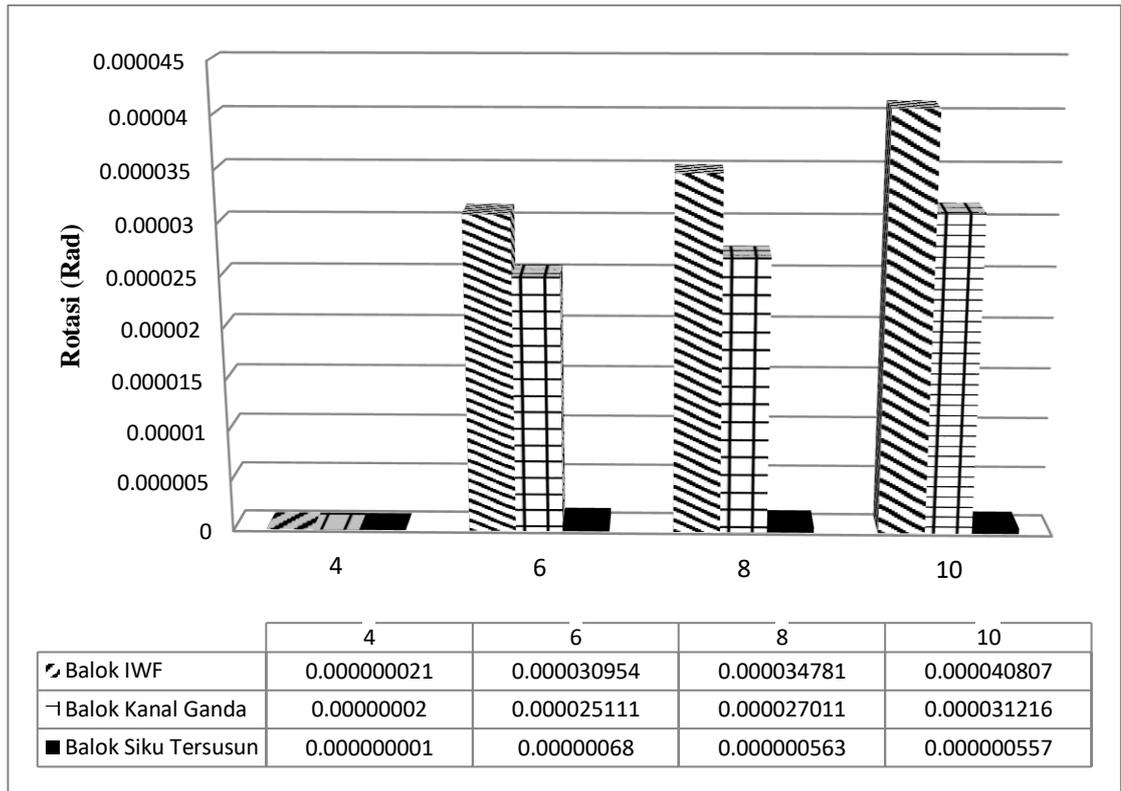
Berdasarkan hasil perhitungan dari program analisis metode elemen hingga, berikut nilai dari deformasi yang terjadi pada balok dan nilai rotasi yang diperoleh, dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Nilai rotasi pada balok.

Balok	Bentang	T	Δ_{max}	Δ_{min}	Rotasi
	m	kN.m	mm	mm	(rad)
IWF	4	0.000001545	0.0000054	-0.0000054	0.000000021
	6	-0.001	0.0077	-0.007738	0.000030954
	8	0.0007	0.0087	-0.008693	0.000034781
	10	0.0006	0.0102	-0.010198	0.000040807
KANAL GANDA	4	0.000001545	0.000005	-0.000005	0.000000020
	6	-0.001	0.006279	-0.006277	0.000025111
	8	0.0007	0.006753	-0.006753	0.000027011
	10	0.0006	0.007804	-0.007804	0.000031216
SIKU TERSUSUN	4	0.000001545	0.00000027	-0.00000027	0.000000001
	6	-0.001	0.000172	0.000172	0.000000680
	8	0.0007	0.000141	0.000141	0.000000563
	10	0.0006	0.000139	0.000139	0.000000557

4.3.1 Perbandingan Analisis Rotasi Pada Balok

Pada Gambar 4.62 dibawah ini merupakan diagram perbandingan hasil analisis rotasi yang terjadi pada balok.



Gambar 4.62: Diagram perbandingan rotasi pada balok.

Pada Gambar 4.62 dapat disimpulkan bahwa dengan nilai torsi yang sama, balok dengan profil siku tersusun memiliki rotasi yang terkecil yaitu sebesar 0,000000557 rad sedangkan pada balok IWF sebesar 0,000040807 rad dan balok kanal ganda sebesar 0,000031216 rad.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tegangan maksimum yang terjadi di ujung balok berbanding lurus terhadap variasi bentang pada balok. Berdasarkan model balok, tegangan maksimum terkecil terjadi pada balok IWF yaitu sebesar 158.05MPa sedangkan balok kanal ganda sebesar 164.50 MPa dan siku tersusun sebesar 171.25 MPa.
2. Dari hasil analisis tegangan-regangan yang terjadi, balok dengan profil IWF memiliki daktilitas yang tinggi sebesar 2.47 sedangkan pada balok kanal ganda sebesar 1.40 dan siku tersusun sebesar 1.47 pada bentang 6m. Berdasarkan variasi bentang pada balok juga dapat mempengaruhi daktilitas pada tegangan-regangan.
3. Deformasi yang terjadi berbanding lurus dengan bertambahnya variasi bentang pada balok. Berdasarkan model balok, profil kanal ganda memiliki nilai deformasi terkecil yaitu 1.756 mm sedangkan pada balok IWF sebesar 1.992 mm dan balok siku tersusun sebesar 2.037 mm pada bentang 6m.
4. Berdasarkan hubungan beban dengan deformasi, balok IWF mempunyai kapasitas yang besar terhadap gaya yang dapat ditahan balok sehingga mampu berdeformasi lebih besar sebelum akhirnya mengalami kelelahan dan runtuh yaitu sebesar 140.27 mm dengan beban yang mampu ditahan mencapai 4000 kN sedangkan balok kanal ganda sebesar 20.95 mm dengan beban 2300 kN dan siku tersusun 22.31 mm dengan beban 2050 kN. Berdasarkan pengaruh variasi bentang, semakin bertambah panjang bentang balok maka semakin berkurang kapasitas gaya yang dapat ditahan.
5. Dengan nilai torsi yang sama, balok dengan profil siku tersusun memiliki rotasi yang terkecil yaitu sebesar 0,000000557 rad sedangkan pada balok IWF sebesar 0,000040807 rad dan balok kanal ganda sebesar 0,000031216 rad.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini penulis memberikan saran yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan pengaku pada balok.
2. Penelitian dapat dikembangkan dengan memperhitungkan kekuatan sambungan pada setiap sambungan baja.
3. Penelitian dapat dikembangkan dengan menambahkan jumlah variasi terhadap bentang balok.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2015). Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729:2015. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Anonim. (2018). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2018. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Anonim. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Dewobroto, Wiryanto. (2016). Struktur Baja Perilaku Dan Desain – AISC 2010. Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
- Ir. Gunawan, R. Tabel Profil Konstruksi Baja. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Lammirta, Levina. Tediando, Leo S. (2018). Analisis Tegangan dan Defleksi pada Balok Kastela dengan Bukaannya RHOMB Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol.1 No.1. Jakarta.
- Meidiani, Srikirana. Juita, Imelda. (2016). Analisa Perbandingan Perencanaan Baja Profil Tunggal Wf Dengan Profil Tersusun (Built-Up) Kanal Pada Bangunan Gable Frame. ISSN: 2355-3553. Vol.3 No.1. Palembang.
- Nursandah, Arifien. (2011). Perencanaan Kapasitas Penampang Profil Baja Siku Pada Balok Sederhana. Jurnal Teknik Sipil KERN Vol. 1 No. 2. Surabaya.
- Paingi, R., Parung, H., & Amiruddin, A. A. (2017). Studi Daktilitas Hubungan Balok Kolom pada Sambungan Model Takik Akibat Beban Siklik Lateral.
- Paskah, M. T., Dapas, S. O., & Manalip, H. (2019). Studi Kuat Tekan Kolom Baja Profil Kanal U Ganda Dengan Variasi Jarak Antar Profil. Jurnal Sipil Statik ISSN: 2337-6732.
- PU, D. (1987). Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Yayasan penrbit PU.
- Putra, Muda G. Manalu, Donny F. (2016). Desain Balok Baja Terkekang Lateral Pada Komponen Struktur Lentur Dengan Penampang Ekonomis Menggunakan Visual Basic. Jurnal Fropil Vol. 4 No.2. Bangka Belitung
- Roberto. Teruna, D. R. (2018). Analisis Perbandingan Tegangan Dan Deformasi Balok Profil Wf Dengan Balok Cold-Formed Yang Dibentuk Dari Kanal Dan Pelat Baja Bergelombang. Medan

Satria, Beta Jagad. Soebandono, B. (2017). Analisis Tegangan Dan Deformasi Balok Kantilever Castellated Bukaannya Heksagonal Penampang Non Prismatis Menggunakan Metode Elemen Hingga. Yogyakarta.

Wigroho, H. Y., & Alfarado, J. (2017). Studi Kuat Lentur Balok Profil C Ganda Dengan Perangkai Tulangan Diagonal. Vol.4 No.3.

Wijaya, Y. (2008). Studi Perilaku Balok Prategang Sebagian Akibat Beban Semi Siklik dengan Metode Numerik. Universitas Indonesia.

LAMPIRAN 1

PERHITUNGAN BEBAN GEMPA

1. Umum

Fungsi bangunan = Gedung Perkantoran

Lokasi = Padang

Kategori resiko = II

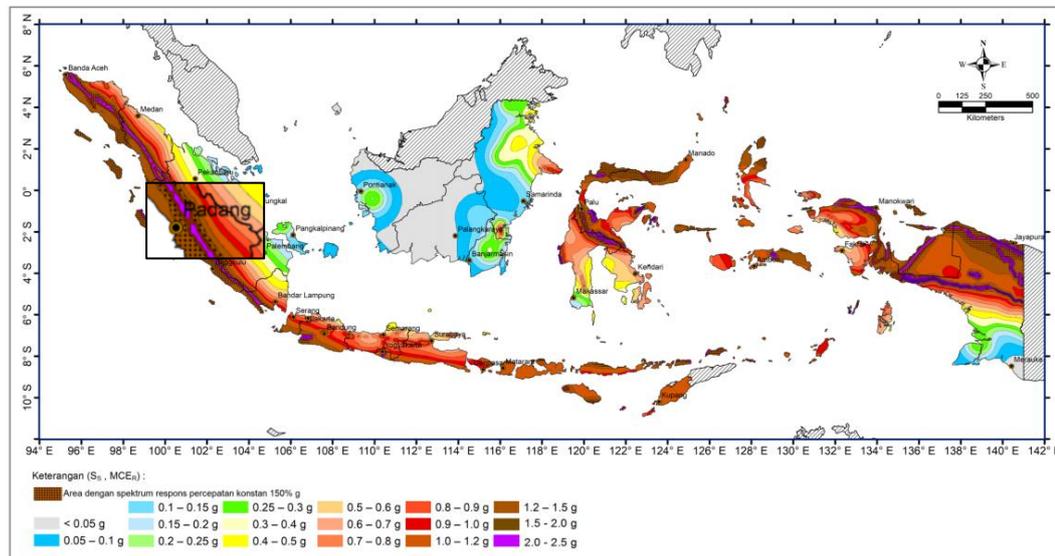
Kelas situs tanah = SD (Tanah Sedang)

2. Faktor Keutamaan Gempa

Tabel L1.1: Faktor keutamaan gempa.

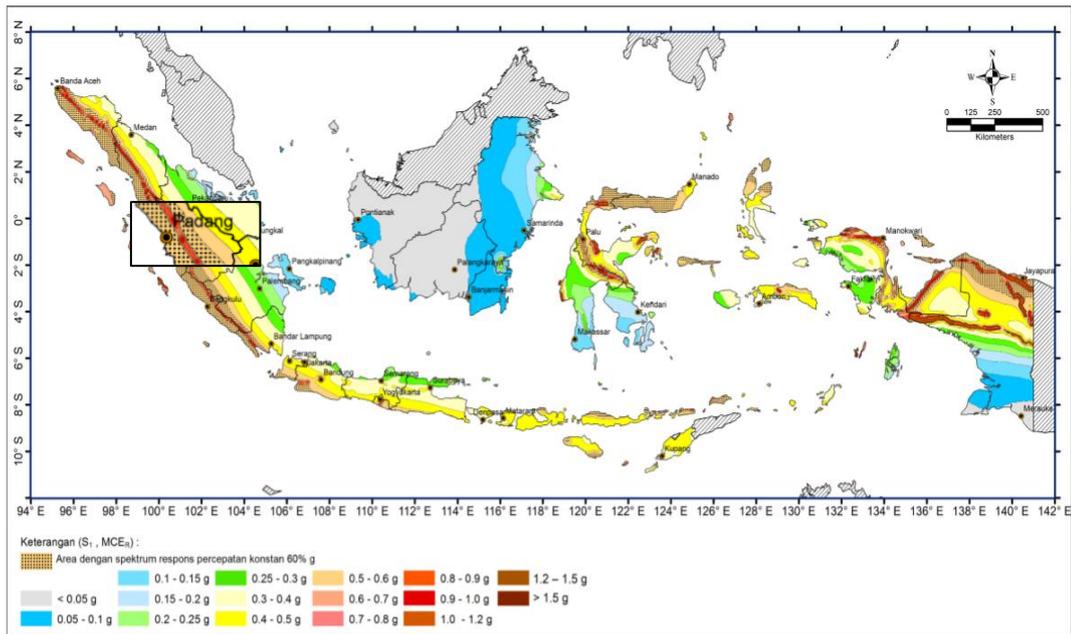
Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

3. Parameter Percepatan Gempa



Gambar L1.1: Peta parameter S_s untuk kota Padang.

Percepatan gempa untuk periode pendek, (S_s) = 1,5g



Gambar L1.2: Peta parameter S_1 untuk kota Padang.

Percepatan gempa untuk periode 1 detik, (S_1) = 0,6g

4. Koefisien Situs

Faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode pendek (F_a) = 1

Faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode 1 detik (F_v) = 1,7

5. Parameter respon spektral

Parameter respon spektral percepatan pada periode pendek

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S = 1 \cdot 1,5 = 1,5$$

Parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 1,7 \cdot 0,6 = 1,02$$

6. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS})

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 1$$

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{D1})

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0,680$$

7. Kategori Desain Seismik

Tabel L1.2: Kategori desain seismik untuk periode pendek.

S_{DS}	Kategori Risiko		
	I, II atau III		IV
$S_{DS} < 0,167$	A		A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B		C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C		D
$0,50 \leq S_{DS}$	D		D

KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek = D

Tabel L1.3: Kategori desain seismic untuk periode 1 detik.

S_{D1}	Kategori Risiko		
	I, II atau III		IV
$S_{D1} < 0,067$	A		A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B		C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C		D
$0,20 \leq S_{D1}$	D		D

KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik = D

8. Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismic = Rangka baja pemikul momen khusus (SRPMK)

Koefisien modifikasi respon $R = 8$

Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0 = 3$

Faktor pembesaran simpangan lateral, $C_d = 5.5$

Redudansi, $\rho = 1.3$

9. Spektrum Respon Desain

Tata cara perhitungan spektrum respon desain terdapat pada di bawah ini:

- 1) Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain, S_a , harus diambil sebesar:

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- 2) Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS}
- 3) Untuk periode yang lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respon spectral percepatan desain, S_a , digunakan formulasi:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

- 4) Untuk periode lebih besar dari T_L , respon spektral percepatan desain, S_a , digunakan formulasi:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

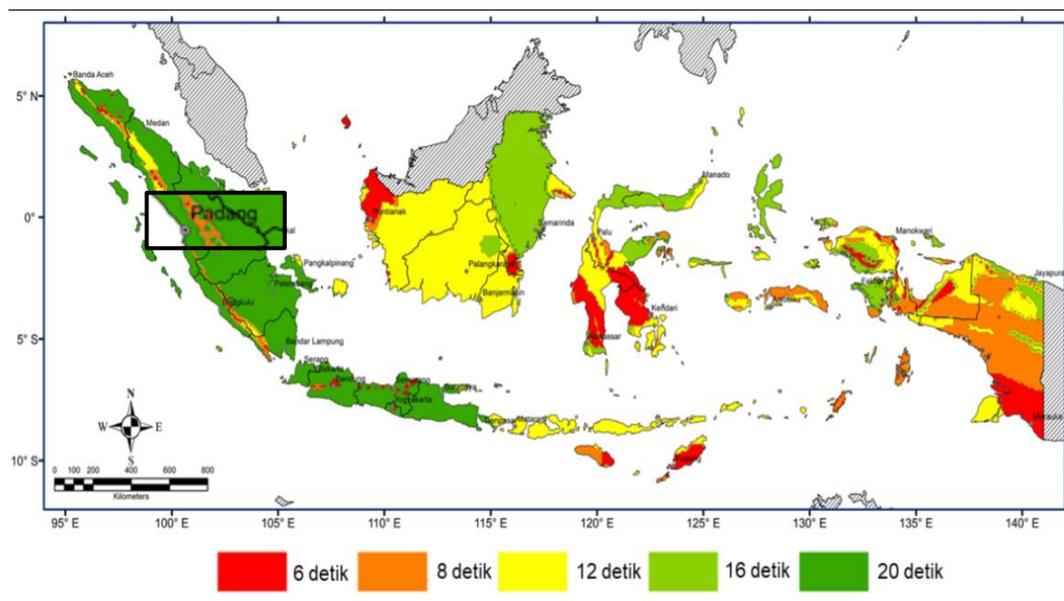
Untuk T , T_0 , T_s , dan T_L terdapat pada dibawah ini:

T = periode fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \cdot \frac{0,68}{1} = 0,136 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,68}{1} = 0,68 \text{ detik}$$

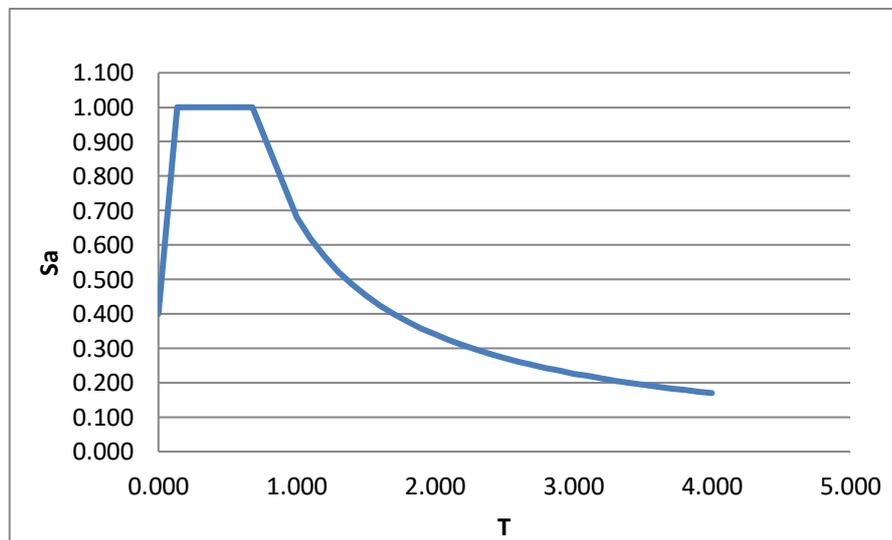
$T_L = 20$ detik (terdapat pada gambar L2.3 dibawah ini)



Gambar L1.3: Peta transisi periode panjang, T_L untuk kota Padang.

Tabel L1.4: Data respon spektrum kota Padang.

T (detik)	Sa (g)
0.000	0.400
0.136	1.000
0.680	1.000
1.000	0.680
1.200	0.567
1.400	0.486
1.600	0.425
1.800	0.378
2.000	0.340
2.200	0.309
2.400	0.283
2.600	0.262
2.800	0.243
3.000	0.227
3.200	0.213
3.400	0.200
3.600	0.189
3.800	0.179
4.000	0.170



Gambar L1.4: Spektrum respon desain untuk kota Padang.

LAMPIRAN 2

TABEL TEGANGAN-REGANGAN BALOK

Tabel L2.1: Data tegangan-regangan balok IWF bentang 4m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	6.39	0.0000343
0.4	200	12.79	0.0000686
0.6	300	19.19	0.0001030
0.8	400	25.58	0.0001374
1	500	31.98	0.0001717
1.2	600	38.37	0.0002061
1.4	700	44.77	0.0002404
1.6	800	51.17	0.0002748
1.8	900	57.57	0.0003092
2	1000	63.97	0.0003435
2.2	1100	70.37	0.0003779
2.4	1200	76.76	0.0004123
2.6	1300	83.16	0.0004466
2.8	1400	89.57	0.0004811
3	1500	96.00	0.0005160
3.2	1600	102.64	0.0005578
3.4	1700	109.45	0.0006198
3.6	1800	115.47	0.0007063
3.8	1900	122.11	0.0008414
4	2000	129.01	0.0010142
4.2	2100	135.49	0.0012019
4.4	2200	142.60	0.0014110
4.6	2300	150.34	0.0016485
4.8	2400	157.12	0.0018877
5	2500	165.06	0.0021623
5.2	2600	172.96	0.0024498
5.4	2700	180.19	0.0027421
5.6	2800	187.91	0.0030421
5.8	2900	193.95	0.0033421
6	3000	201.93	0.0036662
6.2	3100	209.97	0.0040080
6.4	3200	216.66	0.0043725
6.6	3300	223.81	0.0047805

Tabel L2.1: *Lanjutan.*

6.8	3400	230.73	0.0052335
7	3500	237.29	0.0057310
7.2	3600	243.63	0.0062739
7.4	3700	249.49	0.0068530
7.6	3800	254.34	0.0074574
7.8	3900	260.00	0.0080953
8	4000	264.57	0.0087415

Tabel L2.2: Data tegangan-regangan balok IWF bentang 6m

Time	Beban Monotonik kN	Tegangan Rata-Rata MPa	Regangan Rata-Rata MPa
0	0	0	0
0.2	100	0	0.0000416
0.4	200	8.02	0.0000833
0.6	300	16.05	0.0001250
0.8	400	24.07	0.0001667
1	500	32.09	0.0002084
1.2	600	40.12	0.0002501
1.4	700	48.14	0.0002918
1.6	800	56.17	0.0003335
1.8	900	64.20	0.0003752
2	1000	72.22	0.0004169
2.2	1100	80.25	0.0004586
2.4	1200	88.28	0.0004993
2.6	1300	96.21	0.0005412
2.8	1400	104.21	0.0005836
3	1500	112.19	0.0006294
3.2	1600	119.95	0.0006911
3.4	1700	127.94	0.0008055
3.6	1800	137.13	0.0009907
3.8	1900	146.46	0.0012090
4	2000	155.90	0.0014662
4.2	2100	165.82	0.0017484
4.4	2200	175.80	0.0020564
4.6	2300	185.81	0.0024582
4.8	2400	196.22	0.0029509
5	2500	205.54	0.0035180
5.2	2600	213.98	0.0041423
5.4	2700	221.90	0.0048111
5.6	2800	229.99	0.0055121

Tabel L2.2: *Lanjutan.*

5.8	2900	237.10	0.0062458
6	3000	244.87	0.0070062
6.2	3100	252.59	0.0077749
6.4	3200	259.32	0.0085570
6.6	3300	265.93	0.0093493
6.8	3400	272.31	0.0101690
7	3500	278.62	0.0110020
7.2	3600	285.28	0.0118440
7.4	3700	291.84	0.0126820
7.6	3800	298.08	0.0135210
7.8	3900	304.36	0.0143520
7.9	3950	310.30	0.0147680
8	4000	313.40	0.0151800

Tabel L2.3: Data tegangan-regangan balok IWF bentang 8m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	9.55	0.0000493
0.4	200	19.10	0.0000986
0.6	300	28.65	0.0001479
0.8	400	38.20	0.0001972
1	500	47.75	0.0002465
1.2	600	57.30	0.0002958
1.4	700	66.85	0.0003452
1.6	800	76.40	0.0003945
1.8	900	85.95	0.0004438
2	1000	95.50	0.0004931
2.2	1100	104.97	0.0005417
2.4	1200	114.36	0.0005905
2.6	1300	123.95	0.0006469
2.8	1400	134.41	0.0007450
3	1500	145.16	0.0008785
3.2	1600	157.98	0.0010658
4	2000	157.98	0.0010658

Tabel L2.4: Data tegangan-regangan balok IWF bentang 10m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	11.17	0.0000577
0.4	200	22.33	0.0001154
0.6	300	33.50	0.0001731
0.8	400	44.66	0.0002309
1	500	55.83	0.0002886
1.2	600	66.99	0.0003463
1.4	700	78.15	0.0004041
1.6	800	89.31	0.0004618
1.8	900	100.47	0.0005195
2	1000	111.49	0.0005764
2.2	1100	122.51	0.0006546
2.4	1200	134.69	0.0007804
2.6	1300	147.14	0.000925
2.7	1350	153.77	0.001005
2.8	1400	160.61	0.001090
2.9	1450	167.37	0.001189

Tabel L2.5: Data tegangan-regangan balok kanal ganda bentang 4m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	5.52	0.0000293
0.4	200	11.05	0.0000586
0.6	300	16.57	0.0000879
0.8	400	22.10	0.0001172
1	500	27.63	0.0001465
1.2	600	33.15	0.0001758
1.4	700	38.68	0.0002051
1.6	800	44.20	0.0002344
1.8	900	49.73	0.0002637
2	1000	55.26	0.0002930
2.2	1100	60.79	0.0003223
2.4	1200	66.31	0.0003516
2.6	1300	71.84	0.0003809
2.8	1400	77.37	0.0004102
3	1500	82.90	0.0004395
3.2	1600	88.43	0.0004688

Tabel L2.5: *Lanjutan.*

3.4	1700	93.96	0.0004981
3.6	1800	99.49	0.0005274
3.8	1900	105.01	0.0005567
4	2000	110.48	0.0005857
4.2	2100	115.58	0.0006120
4.4	2200	120.92	0.0006404
4.6	2300	126.26	0.0006700
4.8	2400	131.82	0.0007038
5	2500	137.58	0.0007429
5.2	2600	143.19	0.0007992
5.4	2700	148.85	0.0008710
5.6	2800	155.04	0.0009626
5.8	2900	161.43	0.0010688
6	3000	168.42	0.0011876
6.2	3100	175.06	0.0013109
6.4	3200	181.96	0.0014489
6.6	3300	189.74	0.0016353
6.8	3400	196.42	0.0018628
7	3500	203.21	0.0021449
7.2	3600	209.61	0.0024771
7.4	3700	215.83	0.0028485
7.6	3800	221.19	0.0032480
7.8	3900	226.39	0.0036721
8	4000	231.76	0.0041273

Tabel L2.6: Data tegangan-regangan balok kanal ganda bentang 6m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0.0000355
0.2	100	6.84	0.0000710
0.4	200	13.67	0.0001065
0.6	300	20.51	0.0001420
0.8	400	27.35	0.0001775
1	500	34.19	0.0002130
1.2	600	41.03	0.0002486
1.4	700	47.87	0.0002841
1.6	800	54.71	0.0003196
1.8	900	61.55	0.0003551
2	1000	68.39	0.0003906
2.2	1100	75.23	0.0004262
2.4	1200	82.07	0.0004617

Tabel L2.6: *Lanjutan.*

2.6	1300	88.91	0.0004973
2.8	1400	95.76	0.0005328
3	1500	102.60	0.0005660
3.2	1600	109.00	0.0006082
3.4	1700	116.08	0.0006617
3.6	1800	123.35	0.0007236
3.8	1900	130.89	0.0007939
4	2000	138.46	0.0008754
4.2	2100	146.06	0.0009670
4.4	2200	154.03	0.0010155
4.5	2250	157.98	0.0011190
4.6	2300	162.24	0.000355

Tabel L2.7: Data tegangan-regangan balok kanal ganda bentang 8m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	8.31	0.0000427
0.4	200	16.62	0.0000855
0.6	300	24.93	0.0001282
0.8	400	33.24	0.0001709
1	500	41.56	0.0002137
1.2	600	49.87	0.0002564
1.4	700	58.19	0.0002992
1.6	800	66.50	0.0003420
1.8	900	74.82	0.0003847
2	1000	83.14	0.0004275
2.2	1100	91.45	0.0004703
2.4	1200	99.48	0.0005115
2.6	1300	108.02	0.0005646
2.8	1400	117.15	0.0006340
3	1500	126.80	0.0007163

Tabel L2.8: Data tegangan-regangan balok kanal ganda bentang 10m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	9.76	0.0000499
0.4	200	19.52	0.0000998
0.6	300	29.29	0.0001498

Tabel L2.8: *Lanjutan.*

0.8	400	39.05	0.0001997
1	500	48.81	0.0002496
1.2	600	58.58	0.0002996
1.4	700	68.34	0.0003495
1.6	800	78.11	0.0003994
1.8	900	87.87	0.0004494
2	1000	97.40	0.0005006
2.2	1100	107.90	0.0005751
2.4	1200	119.19	0.0006697
2.6	1300	130.96	0.0007796
2.8	1400	142.81	0.0008993
3	1500	154.74	0.0010693
3.1	1550	161.02	0.0012107
3.2	1600	167.26	0.0013975
3.35	1675	176.14	0.0017547
3.45	1725	180.98	0.0020252
3.55	1775	185.72	0.0023198
3.7	1850	191.76	0.0027835
3.85	1925	197.86	0.0032533
4	2000	203.62	0.0037186

Tabel L2.9: Data tegangan-regangan balok siku tersusun bentang 4m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	5.52	0.0000305
0.4	200	11.05	0.0000611
0.6	300	16.57	0.0000916
0.8	400	22.09	0.0001222
1	500	27.62	0.0001527
1.2	600	33.15	0.0001832
1.4	700	38.67	0.0002138
1.6	800	44.20	0.0002443
1.8	900	49.73	0.0002749
2	1000	55.25	0.0003054
2.2	1100	60.78	0.0003360
2.4	1200	66.31	0.0003665
2.6	1300	71.84	0.0003971
2.8	1400	77.37	0.0004277
3	1500	82.90	0.0004582
3.2	1600	88.49	0.0004893

Tabel L2.9: *Lanjutan.*

3.4	1700	94.35	0.0005236
3.6	1800	100.03	0.0005578
3.8	1900	106.22	0.0005983
4	2000	111.85	0.0006404
4.2	2100	118.86	0.0007039
4.4	2200	125.54	0.0007772
4.6	2300	132.68	0.0008674
4.8	2400	140.51	0.0009739
5	2500	149.12	0.0010964
5.2	2600	157.74	0.0012297
5.4	2700	166.78	0.0013802
5.6	2800	176.02	0.0015469
5.8	2900	184.55	0.0017248
6	3000	191.99	0.0019957
6.1	3050	194.80	0.0022728

Tabel L2.10: Data tegangan-regangan balok siku tersusun bentang 6m

Time	Beban Monotonik kN	Tegangan Rata-Rata MPa	Regangan Rata-Rata MPa
0	0	0	0
0.2	100	6.73	0.0000354
0.4	200	13.47	0.0000709
0.6	300	20.21	0.0001063
0.8	400	26.94	0.0001418
1	500	33.68	0.0001772
1.2	600	40.42	0.0002127
1.4	700	47.16	0.0002482
1.6	800	53.90	0.0002836
1.8	900	60.64	0.0003191
2	1000	67.38	0.0003546
2.2	1100	74.12	0.0003901
2.4	1200	80.87	0.0004256
2.6	1300	87.61	0.0004610
2.8	1400	94.21	0.0004956
3	1500	100.14	0.0005281
3.2	1600	107.10	0.0005777
3.4	1700	114.49	0.0006401
3.6	1800	122.53	0.0007155
3.8	1900	131.70	0.0008090
4	2000	141.40	0.0009115
4.1	2050	146.86	0.0009772

Tabel L2.11: Data tegangan-regangan balok siku tersusun bentang 8m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	8.32	0.0000429
0.4	200	16.64	0.0000858
0.6	300	24.96	0.0001287
0.8	400	33.29	0.0001717
1	500	41.61	0.0002146
1.2	600	49.94	0.0002575
1.4	700	58.26	0.0003005
1.6	800	66.59	0.0003434
1.8	900	74.91	0.0003864
2	1000	83.24	0.0004294
2.2	1100	91.50	0.0004718
2.4	1200	99.60	0.0005172
2.6	1300	107.59	0.0005702
2.8	1400	117.04	0.0006551

Tabel L2.12: Data tegangan-regangan balok siku tersusun bentang 10m

Time	Beban Monotonik (kN)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (MPa)
0	0	0	0
0.2	100	10.08	0.0000515
0.4	200	20.16	0.0001030
0.6	300	30.24	0.0001545
0.8	400	40.32	0.0002060
1	500	50.40	0.0002575
1.2	600	60.48	0.0003090
1.4	700	70.57	0.0003605
1.6	800	80.65	0.0004121
1.8	900	90.62	0.0004629
2	1000	100.62	0.0005206
2.2	1100	110.80	0.0005933
2.4	1200	122.32	0.0006935
2.6	1300	134.45	0.0008173
2.8	1400	147.28	0.0009589
3	1500	159.93	0.0011412
3.2	1600	172.37	0.0014745

Tabel L2.12: *Lanjutan.*

3.4	1700	182.72	0.0020332
3.5	1750	187.35	0.0023604
3.6	1800	192.11	0.0027081
3.7	1850	196.68	0.0030707
3.8	1900	200.95	0.0034366
3.9	1950	205.16	0.0038009

LAMPIRAN 3

TABEL DEFORMASI NON-LINEAR BALOK

Tabel L3.1: Data deformasi non-linear balok IWF bentang 4m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	0.29
0.4	200	0.58
0.6	300	0.87
0.8	400	1.15
1	500	1.44
1.2	600	1.73
1.4	700	2.02
1.6	800	2.31
1.8	900	2.60
2	1000	2.89
2.2	1100	3.18
2.4	1200	3.47
2.6	1300	3.75
2.8	1400	4.04
3	1500	4.34
3.2	1600	4.71
3.4	1700	5.29
3.6	1800	6.16
3.8	1900	7.47
4	2000	9.14
4.2	2100	11.00
4.4	2200	13.05
4.6	2300	15.44
4.8	2400	17.88
5	2500	20.64
5.2	2600	23.53
5.4	2700	26.54
5.6	2800	29.58
5.8	2900	32.73
6	3000	36.01
6.2	3100	39.51
6.4	3200	43.38
6.6	3300	47.70

Tabel L3.1: *Lanjutan.*

6.8	3400	52.55
7	3500	57.94
7.2	3600	63.74
7.4	3700	69.83
7.6	3800	76.22
7.8	3900	82.83
8	4000	89.62

Tabel L3.2: Data deformasi non-linear balok IWF bentang 6m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	0.32
0.4	200	0.64
0.6	300	0.96
0.8	400	1.29
1	500	1.61
1.2	600	1.93
1.4	700	2.25
1.6	800	2.57
1.8	900	2.89
2	1000	3.22
2.2	1100	3.54
2.4	1200	3.86
2.6	1300	4.18
2.8	1400	4.52
3	1500	4.90
3.2	1600	5.47
3.4	1700	6.55
3.6	1800	8.34
3.8	1900	10.45
4	2000	12.92
4.2	2100	15.62
4.4	2200	18.54
4.6	2300	22.33
4.8	2400	27.02
5	2500	32.43
5.2	2600	38.39
5.4	2700	44.75
5.6	2800	51.48

Tabel L3.2: *Lanjutan.*

5.8	2900	58.47
6	3000	65.65
6.2	3100	72.95
6.4	3200	80.29
6.6	3300	87.74
6.8	3400	95.31
7	3500	102.90
7.2	3600	110.51
7.4	3700	118.05
7.6	3800	125.55
7.8	3900	132.96
7.9	3950	136.64
8	4000	140.27

Tabel L3.3: Data deformasi non-linear balok IWF bentang 8m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	1.19
0.4	200	2.39
0.6	300	3.58
0.8	400	4.77
1	500	5.96
1.2	600	7.16
1.4	700	8.35
1.6	800	9.55
1.8	900	10.74
2	1000	11.94
2.2	1100	13.13
2.4	1200	14.34
2.6	1300	15.80
2.8	1400	18.46
3	1500	22.79
3.2	1600	29.32
4	2000	51.47

Tabel L3.4: Data deformasi non-linear balok IWF bentang 10m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	2.13
0.4	200	4.25
0.6	300	6.38
0.8	400	8.51
1	500	10.64
1.2	600	12.77
1.4	700	14.91
1.6	800	17.04
1.8	900	19.17
2	1000	21.36
2.2	1100	25.36
2.4	1200	29.29
2.6	1300	34.63
2.7	1350	37.80
2.8	1400	41.28
2.9	1450	44.88

Tabel L3.5: Data deformasi non-linear balok kanal ganda bentang 4m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	0.23
0.4	200	0.46
0.6	300	0.69
0.8	400	0.93
1	500	1.16
1.2	600	1.39
1.4	700	1.62
1.6	800	1.85
1.8	900	2.08
2	1000	2.32
2.2	1100	2.55
2.4	1200	2.78
2.6	1300	3.01
2.8	1400	3.24
3	1500	3.47
3.2	1600	3.71

Tabel L3.5: *Lanjutan.*

3.4	1700	3.94
3.6	1800	4.17
3.8	1900	4.40
4	2000	4.63
4.2	2100	4.87
4.4	2200	5.11
4.6	2300	5.36
4.8	2400	5.63
5	2500	5.94
5.2	2600	6.40
5.4	2700	7.00
5.6	2800	7.75
5.8	2900	8.62
6	3000	9.56
6.2	3100	10.59
6.4	3200	11.80
6.6	3300	13.50
6.8	3400	15.74
7	3500	18.53
7.2	3600	21.88
7.4	3700	25.62
7.6	3800	29.72
7.8	3900	34.08
8	4000	38.70

Tabel L3.6: Data deformasi non-linear balok kanal ganda bentang 6m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	0.53
0.4	200	1.07
0.6	300	1.60
0.8	400	2.13
1	500	2.66
1.2	600	3.20
1.4	700	3.73
1.6	800	4.26
1.8	900	4.80
2	1000	5.33

2.2	1100	5.86
2.4	1200	6.40
2.6	1300	6.93
2.8	1400	7.46
3	1500	8.00
3.2	1600	8.55
3.4	1700	9.19
3.6	1800	10.01
3.8	1900	10.99
4	2000	12.13
4.2	2100	13.44
4.4	2200	14.97
4.5	2250	15.94
4.6	2300	20.95

Tabel L3.7: Data deformasi non-linear balok kanal ganda bentang 8m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	1.11
0.4	200	2.23
0.6	300	3.34
0.8	400	4.45
1	500	5.56
1.2	600	6.68
1.4	700	7.79
1.6	800	8.90
1.8	900	10.02
2	1000	11.13
2.2	1100	12.25
2.4	1200	13.37
2.6	1300	14.77
2.8	1400	16.74
3	1500	19.98

Tabel L3.8: Data deformasi non-linear balok kanal ganda bentang 10m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	2.05
0.4	200	4.10
0.6	300	6.15
0.8	400	8.20
1	500	10.25
1.2	600	12.31
1.4	700	14.36
1.6	800	16.41
1.8	900	18.46
2	1000	20.78
2.2	1100	24.07
2.4	1200	28.05
2.6	1300	32.93
2.8	1400	37.91
3	1500	46.26
3.1	1550	53.76
3.2	1600	64.01
3.35	1675	83.71
3.45	1725	98.78
3.55	1775	115.09
3.7	1850	140.69
3.85	1925	166.16
4	2000	190.87

Tabel L3.9: Data deformasi non-linear balok siku tersusun bentang 4m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (MPa)
0	0	0
0.2	100	0.31
0.4	200	0.63
0.6	300	0.94
0.8	400	1.26
1	500	1.57
1.2	600	1.89
1.4	700	2.20
1.6	800	2.52
1.8	900	2.83

Tabel L3.9: *Lanjutan.*

2	1000	3.15
2.2	1100	3.47
2.4	1200	3.78
2.6	1300	4.10
2.8	1400	4.41
3	1500	4.73
3.2	1600	5.07
3.4	1700	5.49
3.6	1800	5.98
3.8	1900	6.56
4	2000	7.26
4.2	2100	8.19
4.4	2200	9.36
4.6	2300	10.75
4.8	2400	12.34
5	2500	14.06
5.2	2600	15.99
5.4	2700	18.23
5.6	2800	20.73
5.8	2900	23.76
6	3000	30.30
6.1	3050	38.48

Tabel L3.10: Data deformasi non-linear balok siku tersusun bentang 6m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	0.62
0.4	200	1.25
0.6	300	1.87
0.8	400	2.49
1	500	3.12
1.2	600	3.74
1.4	700	4.36
1.6	800	4.99
1.8	900	5.61
2	1000	6.24
2.2	1100	6.86
2.4	1200	7.49
2.6	1300	8.11

Tabel L3.10: *Lanjutan.*

2.8	1400	8.74
3	1500	9.44
3.2	1600	10.47
3.4	1700	11.88
3.6	1800	13.64
3.8	1900	15.86
4	2000	19.37
4.1	2050	22.31

Tabel L3.11: Data deformasi non-linear balok siku tersusun bentang 8m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	1.21
0.4	200	2.43
0.6	300	3.64
0.8	400	4.86
1	500	6.07
1.2	600	7.29
1.4	700	8.50
1.6	800	9.72
1.8	900	10.94
2	1000	12.15
2.2	1100	13.37
2.4	1200	14.76
2.6	1300	16.81
2.8	1400	21.44

Tabel L3.12: Data deformasi non-linear balok siku tersusun bentang 10m.

Time	Beban Monotonik (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0
0.2	100	2.17
0.4	200	4.33
0.6	300	6.50
0.8	400	8.67
1	500	10.84
1.2	600	13.01
1.4	700	15.18

Tabel L3.12: *Lanjutan.*

1.6	800	17.35
1.8	900	19.53
2	1000	22.01
2.2	1100	25.05
2.4	1200	29.13
2.6	1300	34.45
2.8	1400	40.52
3	1500	49.00
3.2	1600	66.05
3.4	1700	95.56
3.5	1750	112.83
3.6	1800	131.04
3.7	1850	149.78
3.8	1900	168.81
3.9	1950	187.44



TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : MAWAR TIRANA

NPM : 1607210135

**JUDUL : ANALISIS PERBANDINGAN TEGANGAN DAN DEFORMASI BALOK
PROFIL IWF DENGAN BALOK PROFIL KANAL GANDA DAN PROFIL
SIKU TERSUSUN.**

NO	TANGGAL	KETERANGAN	FAKAF
1.	14 Agustus 2020	- Lanjut analisis dengan Software	
2.	22 Agustus 2020	- Menentukan Beban - Analisis torsi	
3.	29 Agustus 2020	- Kombinasi pembebanan - Analisa torsi di Aplikasi	
4.	7 Agustus 2020	- Nilai perpindahan akibat torsi pada aplikasi elemen hingga	
5.	23 September 2020	Analisa non - Linear	
6.	1 Oktober 2020	Grafik analisa non - Linear	
7.	3 Nov 2020	Arc Seminar Hasil	

DOSEN PEMBIMBING

(Tondi Amirsyah Putera, ST.MT)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama : Mawar Tirana
Panggilan : Mawar
Tempat, Tanggal Lahir : Alue Dua, 13 Agustus 1998
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat Sekarang : Jalan Marelan V Gang Keluarga
HP/Tlpn Seluler : 082278217949
Email : mawartirana@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210135
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Jenis Kelamin : Perempuan
Peguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Peguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
Sekolah Dasar	SD MIN BELAWAN	2010
Sekolah Menengah Pertama	SMPN 39 MEDAN	2013
Sekolah Menengah Kejuruan	SMAN 1 MATAULI PANDAN	2016