

**TUGAS AKHIR**

**PERBANDINGAN PENGARUH TATA LETAK BAUT PADA  
SAMBUNGAN BALOK-KOLOM STRUKTUR BAJA**

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera

Disusun Oleh:

**NIKY ARIANTO**

**1607210094**



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



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**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](mailto:fatek@umsu.ac.id)

Menjawab surat ini agar disebutkan Nomor  
tanggalnya

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama	: Niky Arianto
NPM	: 1607210094
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Skripsi	: Perbandingan Pengaruh Tata Letak Baut Pada Sambungan Balok-Kolom Struktur Baja
Bidang Ilmu	: Struktur



DISETUIJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA  
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan,

2020

Dosen Pembimbing

**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya  
Tondi Amirsyah, S.T, M.T

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Niky Arianto

NPM : 1607210094

Program Studi : Teknik Sipil

Bidang Ilmu : Struktur

Judul Skripsi : Perbandingan Pengaruh Tata Letak Sambungan Pada Balok-Kolom  
Struktur Baja

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

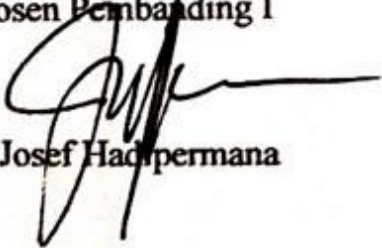
Medan, 02 November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

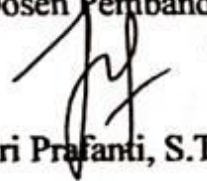
Dosen Pembimbing

  
Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T

Dosen Pembimbing I

  
Dr. Josef Hadipermana

Dosen Pembimbing II

  
Sri Prafanti, S.T, M.T

Kepala Program Teknik Sipil

  
Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Niky Arianto

Tempat/Tanggal Lahir : Batam, 06 November 1996

NPM : 1607210094

Fakultas : Teknik

Program Studi : Sipil

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

“Perbandingan Pengaruh Tata Letak Baut Pada Sambungan Balok-Kolom Struktur Baja”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil 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/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 November 2020

Saya yang menyatakan



Niky Arianto



## ABSTRAK

### PERBANDINGAN PENGARUH TATA LETAK BAUT PADA SAMBUNGAN BALOK-KOLOM STRUKTUR BAJA

Niky Arianto  
1607210094

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

Sambungan balok-kolom dapat mempengaruhi kegagalan atau keruntuhan pada sistem struktur. Dengan berkembangnya metode dalam menganalisis sambungan, maka tujuan tugas akhir ini untuk mengetahui pengaruh tata letak baut terhadap momen-rotasi, klasifikasi, tegangan-regangan, nilai tekan-tarik baut, serta geser baut pada sambungan *end-plate* dengan menggunakan software FEM. Hasil yang didapat dengan membandingkan perletakan baut adalah bertambahnya ketebalan *end-plate* 16 mm ke 20 mm dapat meningkatkan momen dan kapasitas rotasi yang terjadi namun pada batas ketebalan tertentu, menurun diakibatkan kegagalan pada baut dengan kondisi end-plate belum mencapai titik leleh. Pada klasifikasi sambungan terdapat dua jenis yaitu *pinned* dan *semi-rigid*. Tegangan-regangan pada baut dengan variasi yang berbeda akan sangat berpengaruh terhadap daktilitasnya, dimana kondisi tata letak baut sangat mempengaruhi. perpanjangan-perpendekan cenderung menurun dari baut teratas hingga terbawah adapun perpanjangan dan beban tarik maksimum terjadi pada baut baris teratas yaitu sebesar 1090,3 Mpa pada Tp 16 dengan *stiffeners* model 2 baut disusun zig-zag.

**Kata kunci:** Sambungan baut, tebal *end-plate*, tata letak baut

## **ABSTRACT**

### **COMPARISON OF THE EFFECT BOLTS LAYOUT ON STEEL STRUCTURE BEAM-COLUMN CONNECTIONS**

Niky Arianto  
1607210094

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

*Column-block connections can affect failures or collapses in system structures. With the development of methods for analyzing connections, the goal of this final task is to know the effect of bolt layout on moment-rotation, classification, tension-strain, bolt press-pull value, and slide bolts on end-plate connections using FEM software. The result obtained by comparing the laying of bolts is that increasing the end-plate thickness from 16 mm to 20 mm can increase the moment and rotation capacity that occurs but at certain thickness limits, decreased due to failure on bolts with end-plate conditions has not reached the melting point. In the classification of joints there are two types of pinned and semi-rigid. The tension-strain on bolts with different variations will have a great effect on the ductility, where the layout conditions of the bolts are very affecting. end-plate shortening decreases from the top to bottom bolts while the maximum extension and tensile load occurs on the top line bolt which is 1090.3 Mpa on Tp 16 with stiffeners model 2 bolts arranged zig-zag.*

**Keywords:** *Bolt joint, thick end-plate, bolt layout*

## 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 “Perbandingan pengaruh Tata Letak Baut Pada Sambungan Balok-Kolom Stuktur Baja” 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 Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc, Ph.D selaku Wakil Dekan III Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Fahrizal Zulkarnain S.T, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Hj. Irma Dewi S.T, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T selaku Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Josef Hadipermana selaku Penguji I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Ibu Sri Prafanti, S.T, M.T selaku Penguji II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipilan kepada penulis.



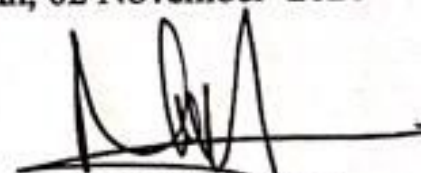
9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Terima kasih yang teristimewa kepada Orang tua saya yaitu papa dan mama, saudara-saudara kandung saya serta seluruh keluarga besar penulis atas dukungan moril maupun material, semangat, bimbingan dan kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.
11. Teman-teman dekat penulis yaitu Kakek Yusuf, Bambang Yudhayana, Prima Ramadhanti, Farida Sirait, Dwi Saputri, serta seluruh teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.

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, 02 November 2020



NIKY ARIANTO

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja	5
2.2 Kegagalan Sambungan Baja	5
2.3 Sifat Mekanik Baja	6
2.4 Sambungan Struktur	8
2.4.1 Sambungan Momen <i>End-Plate</i>	10
2.4.2 Baut	11
2.5 Kekuatan Sambungan Batang Tarik Pelat Baja	12
2.5.1 Kekuatan Tarik pelat Pada Penampang Kritis	12
2.5.2 Kekuatan Geser Alat Sambung	13
2.5.3 Kekuatan Tumpu Pelat	13
2.6 Klasifikasi Sambungan Berdasarkan AISC 360-10	14
2.7 Tegangan-Regangan	15
	ix

2.8	Bilinier Isotropic Hardening	16
2.9	Tegangan <i>Von-Misese</i>	17
2.10	Metode Newton-Raphson	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Metodologi Penelitian	20
3.1.1	Literatur	20
3.2	Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	20
3.3	Mulai	22
3.4	Studi Literatur	22
3.5	Data Pembebebanan pada struktur gedung	23
3.5.1	Beban Mati	23
3.5.2	Beban Hidup	24
3.5.3	Beban Angin	24
3.5.4	Beban Gempa	25
3.6	Pemodelan struktur Gedung	26
3.7	Pengecekan stuktur gedung	27
3.7.1	Simpangan antar lantai	27
3.7.2	P-delta	27
3.7.3	Pengecekan torsi	28
3.7.4	Ketidak beraturan horizontal	28
3.7.5	Ketidak beraturan vertical	28
3.8	Pemodelan Sambungan <i>end-plate</i>	29
3.8.1	Dimensi Balok	29
3.8.2	Dimensi Kolom	30
3.8.3	Dimensi <i>End-plate</i>	31
3.8.4	Jarak Baut Dan Dimensi Baut	31
3.8.5	Bentuk-bentuk Tata Letak Baut Pada Sambungan <i>End-plate</i>	34
3.9	Input pemodelan ke sofwere	
3.9.1	Defenisi Material	38
3.9.2	Input model sambungan end-plate	39



3.9.3	Defenisi <i>contact</i>	40
3.9.4	<i>Meshing</i>	45
3.9.5	Pembeban sambungan <i>end-plate</i>	46
3.9.6	Newton Raphson	46
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Hasil analisis momen-rotasi	47
4.1.1	Hubungan momen-rotasi pada model 1 baut disusun sejajar	47
4.1.2	Hubungan momen-rotasi pada model 2 baut disusun zig-zag	50
4.1.3	Hubungan momen-rotasi pada model 3 baut disusun sejajar diatas	53
4.1.4	Hubungan momen-rotasi pada model 4 baut disusun sejajar diatas dan bawah	56
4.2	Klasifikasi Sambungan <i>End-plate</i>	59
4.3	Tegangan-Regangan	62
4.3.1	Tegangan-Regangan model 1 baut disusun sejajar	62
4.3.1.1	Tegangan-regangan pada baut 1	62
4.3.1.2	Tegangan-regangan pada baut 2	64
4.3.1.3	Tegangan-regangan pada baut 3	65
4.3.1.4	Tegangan-regangan pada baut 4	66
4.3.1.5	Tegangan-regangan pada baut 5	67
4.3.1.6	Tegangan-regangan pada baut 6	68
4.3.1.7	Tegangan-regangan pada baut 7	69
4.3.1.8	Tegangan-regangan pada baut 8	70
4.3.2	Tegangan-Regangan model 2 baut disusun zig-zag	71
4.3.2.1	Tegangan-regangan pada baut 1	71
4.3.2.2	Tegangan-regangan pada baut 2	72
4.3.2.3	Tegangan-regangan pada baut 3	73
4.3.2.4	Tegangan-regangan pada baut 4	74
4.3.2.5	Tegangan-regangan pada baut 5	75
4.3.2.6	Tegangan-regangan pada baut 6	77

4.3.2.7	Tegangan-regangan pada baut 7	78
4.3.2.8	Tegangan-regangan pada baut 8	79
4.3.3	Tegangan-Regangan model 3 baut disusun sejajar di atas	80
4.3.3.1	Tegangan-regangan pada baut 1	80
4.3.3.2	Tegangan-regangan pada baut 2	81
4.3.3.3	Tegangan-regangan pada baut 3	83
4.3.3.4	Tegangan-regangan pada baut 4	84
4.3.3.5	Tegangan-regangan pada baut 5	84
4.3.3.6	Tegangan-regangan pada baut 6	86
4.3.3.7	Tegangan-regangan pada baut 7	87
4.3.3.8	Tegangan-regangan pada baut 8	88
4.3.4	Tegangan-Regangan model 4 baut disusun sejajar di atas dan bawah	89
4.3.4.1	Tegangan-regangan pada baut 1	89
4.3.4.2	Tegangan-regangan pada baut 2	90
4.3.4.3	Tegangan-regangan pada baut 3	91
4.3.4.4	Tegangan-regangan pada baut 4	92
4.3.4.5	Tegangan-regangan pada baut 5	93
4.3.4.6	Tegangan-regangan pada baut 6	94
4.3.4.7	Tegangan-regangan pada baut 7	96
4.3.4.8	Tegangan-regangan pada baut 8	97
4.4	Perpendekan Dan Perpanjangan Baut	97
4.4.1	Model 1 baut di susun sejajar	98
4.4.2	Model 2 baut di susun zig-zag	98
4.4.3	Model 3 baut di susun sejajar di atas	99
4.4.4	Model 4 baut di susun sejajar di atas dan bawah	100
4.5	Beban Tarik	100
4.5.1	Model 1 baut di susun sejajar	101
4.5.2	Model 2 baut di susun zig-zag	102
4.5.3	Model 3 baut di susun sejajar di atas	103
4.5.4	Model 4 baut di susun sejajar di atas dan bawah	105

4.6	Tegangan Geser	107
4.6.1	Model 1 baut di susun sejajar	107
4.6.2	Model 2 baut di susun zig-zag	109
4.6.3	Model 3 baut di susun sejajar diatas	111
4.6.4	Model 4 baut di susun sejajar diatas dan bawah	113
4.7	Hasil analisis momen-rotasi berdasarkan tebal	114
4.8	Klasifikasi Sambungan <i>End-plate</i>	118
4.9	Tegangan-Regangan	119
4.9.1	Tegangan-Regangan Tp 16	120
4.9.1.1	Tegangan-regangan pada baut 1	120
4.9.1.2	Tegangan-regangan pada baut 2	121
4.9.1.3	Tegangan-regangan pada baut 3	122
4.9.1.4	Tegangan-regangan pada baut 4	123
4.9.1.5	Tegangan-regangan pada baut 5	124
4.9.1.6	Tegangan-regangan pada baut 6	125
4.9.1.7	Tegangan-regangan pada baut 7	126
4.9.1.8	Tegangan-regangan pada baut 8	127
4.9.2	Tegangan-Regangan Tp 20	128
4.9.2.1	Tegangan-regangan pada baut 1	129
4.9.2.2	Tegangan-regangan pada baut 2	130
4.9.2.3	Tegangan-regangan pada baut 3	131
4.9.2.4	Tegangan-regangan pada baut 4	132
4.9.2.5	Tegangan-regangan pada baut 5	132
4.9.2.6	Tegangan-regangan pada baut 6	133
4.9.2.7	Tegangan-regangan pada baut 7	134
4.9.2.8	Tegangan-regangan pada baut 8	135
4.9.3	Tegangan-Regangan Tp 16 dengan <i>stiffeners</i>	136
4.9.3.1	Tegangan-regangan pada baut 1	137
4.9.3.2	Tegangan-regangan pada baut 2	138
4.9.3.3	Tegangan-regangan pada baut 3	139
4.9.3.4	Tegangan-regangan pada baut 4	140
4.9.3.5	Tegangan-regangan pada baut 5	141



4.9.3.6	Tegangan-regangan pada baut 6	142
4.9.3.7	Tegangan-regangan pada baut 7	143
4.9.3.8	Tegangan-regangan pada baut 8	144
4.9.4	Tegangan-Regangan Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	144
4.9.4.1	Tegangan-regangan pada baut 1	145
4.9.4.2	Tegangan-regangan pada baut 2	146
4.9.4.3	Tegangan-regangan pada baut 3	147
4.9.4.4	Tegangan-regangan pada baut 4	148
4.9.4.5	Tegangan-regangan pada baut 5	149
4.9.4.6	Tegangan-regangan pada baut 6	150
4.9.4.7	Tegangan-regangan pada baut 7	151
4.9.4.8	Tegangan-regangan pada baut 8	152
4.10	Perpendekan Dan Perpanjangan Baut	153
4.10.1	Perpendekan-Perpanjangan Baut Tp 16	153
4.10.2	Perpendekan-Perpanjang Baut Tp 20	154
4.10.3	Perpendekan-Perpanjang Baut Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	155
4.10.4	Perpendekan-Perpanjang Baut Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	156
4.11	Beban Tarik Baut	157
4.11.1	Beban Tarik Baut Tp 16	157
4.11.2	Beban Tarik Baut Tp 20	159
4.11.3	Beban Tarik Baut Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	160
4.11.4	Beban Tarik Baut Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	161
4.12	Tegangan Geser Baut	
4.12.1	Tegangan Geser Baut Tp 16	164
4.12.2	Tegangan Geser Baut Tp 20	166
4.12.3	Tegangan Geser Baut Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	168
4.12.4	Tegangan Geser Baut Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	170
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan	172
5.2	Saran	173

DAFTAR PUSTAKA

174

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1:	Spesifikasi material baja untuk keperluan desain (Deobroto 2016)	5
Tabel 2.2:	Kuat Nominal Baut (sumber: J3.2 dari AISC 2010)	10
Tabel 2.3:	Standarisasi Diameter Lubang Baut (sumber: J3.2 dari AISC 2010)	11
Tabel 3.1:	Beban mati struktur	23
Tabel 3.2:	Beban Hidup perkantoran	23
Tabel 3.3:	Dimensi balok IWF 400 x 200	29
Tabel 3.4:	Dimensi kolom H 500 x 500	29
Tabel 3.5:	Dimensi <i>end-plat</i>	30
Tabel 3.6:	Model sambungan <i>end-plat non-stiffners</i> dan <i>stiffners</i>	38
Tabel 3.7:	<i>contact</i> untuk non <i>stiffners</i>	39
Tabel 3.8:	<i>contact</i> untuk <i>stiffners</i>	39
Tabel 4.1:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> model 1 baut disusun sejajar	60
Tabel 4.2:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> model 2 baut disusun zig-zag	60
Tabel 4.3:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> model 3 baut disusun sejajar diatas	61
Tabel 4.4:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> model 4 baut disusun sejajar diatas dan bawah	61
Tabel 4.5:	Perpanjangan-Perpendekan model 1 Baut disusun sejajar	98
Tabel 4.6:	Perpanjangan-Perpendekan model 2 Baut disusun Zig-zag	99
Tabel 4.7:	Perpanjangan-Perpendekan model 3 Baut disusun sejajar diatas	99
Tabel 4.8:	Perpanjangan-Perpendekan model 4 Baut disusun diatas dan bawah	100
Tabel 4.9:	Beban tarik-tekan model 1 Baut disusun sejajar	101
Tabel 4.10:	Beban tarik-tekan model 2 Baut disusun zig-zag	102
Tabel 4.11:	Beban tarik-tekan model 3 Baut disusun sejajar diatas	104

Tabel 4.12	Beban tarik-tekan model 4 Baut disusun sejajar diatas dan bawah	105
Tabel 4.13:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> Tp 16	118
Tabel 4.14:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> Tp 120	118
Tabel 4.15:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> Tp 16 dengan <i>stiffeners</i>	118
Tabel 4.15:	Klasifikasi sambungan <i>end-plate</i> Tp 20 dengan <i>stiffeners</i>	119
Tabel 4.16:	Perpanjangan-Perpendekan model Tp 16	153
Tabel 4.17:	Perpanjangan-Perpendekan model Tp 20	154
Tabel 4.18	Perpanjangan-Perpendekan model Tp 16 dengan <i>stiffeners</i>	155
Tabel 4.19	Perpanjangan-Perpendekan model Tp 20 dengan <i>stiffeners</i>	156
Tabel 4.20	Beban tarik-tekan model Tp 16	157
Tabel 4.21	Beban tarik-tekan Tp 20	159
Tabel 4.22	Beban tarik-tekan model Tp 16 dengan <i>stiffeners</i>	160
Tabel 4.23	Beban tarik-tekan model Tp 20 dengan <i>stiffeners</i>	162

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kegagalan sambungan baja	6
Gambar 2.2	Hasil uji tarik benda uji sampai mengalami keruntuhan (Agus Setiawan Struktur Baja Metode LRFD, 2008)	7
Gambar 2.3:	Klasifikasi sambungan berdasarkan kekakuan	8
Gambar 2.4:	Distribusi momen tahanan terhadap momen jepit sempurna pada sambungan kaku (Ervina Sari, 2003)	9
Gambar 2.5:	Perilaku sambungan momen pada struktur baja (Dewobroto, 2016)	10
Gambar 2.6:	Sambungan end-plate dengan pengaku (Dewobroto, 2016)	10
Gambar 2.7:	Zona kritis kolom akibat gaya reaksi sambungan	11
Gambar 2.8:	Defenisi kekakuan, kekuatan, dan karakteristik daktilitas momen-rotasi (Anonim 2010)	15
Gambar 2.9:	Klasifikasi momen-rotasi dengan batas <i>fully restrained</i> (FR), <i>partially restrained</i> (PR), dan <i>simple</i> (Anonim 2010)	15
Gambar 2.10:	Grafik tegangan-regangan baja	17
Gambar 2.11:	Kurva <i>bilinier isotropic hardening</i> (ANSYS INC 2017)	17
Gambar 2.12:	Prosedur inkremental beban pada metode Newton- Raphson (ANSYS,2004)	19
Gambar 3.1:	Diagram alir pembuatan dan analisis pada <i>end- plate</i>	20
Gambar 3.2:	Model gedung 5 lantai 3D	26
Gambar 3.3:	Bagian gedung yang dutunjau	27
Gambar 3.4:	Panjang balok yang digunakan	29
Gambar 3.5:	Dimensi balok IWF400 x 200	29
Gambar 3.6 :	Panjang Kolom yang digunakan	30
Gambar 3.7:	Tinggi kolom H500x500	30
Gambar 3.8:	Dimensi <i>end-plat</i> model 1 dan 2	31
Gambar 3.9:	Dimensi Baut	31
Gambar 3.10:	Jarak tepi baut model 1	32
Gambar 3.11:	Jarak tepi baut model 2	33
Gambar 3.12:	Jarak tepi baut model 3	33

Gambar 3.13:	Jarak tepi baut model 4	33
Gambar 3.14:	Bentuk baut model 1 disusun sejajar	34
Gambar 3.15:	Bentuk baut model 2 disusun zig-zag	34
Gambar 3.16:	Bentuk baut model 3 disusun sejajar diatas	35
Gambar 3.17:	Bentuk baut model 4 disusun sejajar diatas dan bawah	35
Gambar 3.18:	Bentuk baut model 1 disusun sejajar dengan <i>stiffners</i>	36
Gambar 3.19:	Bentuk baut model 2 disusun zig-zag dengan <i>stiffners</i>	36
Gambar 3.20:	Bentuk baut model 3 disusun sejajar diatas dengan <i>stiffners</i>	37
Gambar 3.21:	Bentuk baut model 4 disusun sejajar diatas dan bawah dengan <i>stiffners</i>	37
Gambar 3.22:	<i>Engginering data</i>	38
Gambar 3.23:	Spesifikasi baja	38
Gambar 3.24:	Spesifikasi baja baut ASTM A325	39
Gambar 3.25:	<i>Contact</i> balok dengan <i>end-plate</i>	41
Gambar 3.26:	<i>Contact</i> nut dengan kolom	41
Gambar 3.27:	<i>Contact</i> nut dengan baut	42
Gambar 3.28:	<i>Contact</i> baut dengan <i>end-plate</i>	42
Gambar 3.29:	<i>Contact</i> baut dengan <i>end-plate</i>	43
Gambar 3.30:	<i>Contact</i> kolom dengan <i>end-plate</i>	43
Gambar 3.31:	<i>Contact stiffners</i> dengan <i>end-plate</i>	44
Gambar 3.32:	<i>Contact stiffners</i> dengan <i>end-plate</i> balok	44
Gambar 3.33:	<i>Meshing</i> pada sambungan <i>end-plate</i>	45
Gambar 3.34:	<i>Meshing</i> pada sambungan <i>end-plate</i> dengan <i>stiffners</i>	45
Gambar 3.35:	Penerapan beban monotonik	46
Gambar 3.36:	Penerapan nilai <i>newton rapson</i>	46
Gambar 4.1:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 16 model 1	47
Gambar 4.2:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 20 model 1	48
Gambar 4.3:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 16 dengan <i>stiffners</i> model 1	48
Gambar 4.4:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 20 dengan <i>stiffners</i> model 1	48
Gambar 4.5:	Momen rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 1	49
Gambar 4.6:	Momen pada sambungan <i>end-plate</i> model 1	49



Gambar 4.7:	Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 1	50
Gambar 4.8:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 16 model 2	50
Gambar 4.9:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 20 model 2	51
Gambar 4.10:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 16 dengan <i>stiffners</i> model 2	51
Gambar 4.11:	Rotasi pada <i>end-plate</i> 20 dengan <i>stiffner</i> model 2	51
Gambar 4.12:	Momen-Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 2	52
Gambar 4.13:	Momen pada sambungan <i>end-plate</i> model 2	52
Gambar 4.14:	Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 2	53
Gambar 4.15:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 16 model 3	53
Gambar 4.16:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 20 model 3	54
Gambar 4.17:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 16 dengan <i>stiffners</i> model 3	54
Gambar 4.18:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 20 dengan <i>stiffners</i> model 3	54
Gambar 4.19:	Momen-Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 3	55
Gambar 4.20:	Momen pada sambungan <i>end-plate</i> model 3	55
Gambar 4.21:	Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 3	56
Gambar 4.22:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 16 model 4	56
Gambar 4.23:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 20 model 4	57
Gambar 4.24:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 16 dengan <i>stiffners</i> model 4	57
Gambar 4.25:	Rotasi pada <i>end-plate</i> Tp 20 dengan <i>stiffners</i> model 4	57
Gambar 4.26:	Momen-Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 4	58
Gambar 4.27:	Momen pada sambungan <i>end-plate</i> model 4	58
Gambar 4.28:	Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> model 4	59
Gambar 4.29:	Model 1 baut disusun secara sejajar	62
Gambar 4.30:	Tegangan-regangan baut 1 pada model baut disusun sejajar	63
Gambar 4.31:	Tegangan-regangan baut 2 pada model baut disusun sejajar	64
Gambar 4.32:	Tegangan-regangan baut 3 pada model baut disusun sejajar	65
Gambar 4.33:	Tegangan-regangan baut 4 pada model baut disusun sejajar	66

Gambar 4.34:	Tegangan-regangan baut 5 pada model baut disusun sejajar	67
Gambar 4.35:	Tegangan-regangan baut 6 pada model baut disusun sejajar	68
Gambar 4.36:	Tegangan-regangan baut 7 pada model baut disusun sejajar	69
Gambar 4.37:	Tegangan-regangan baut 8 pada model baut disusun sejajar	70
Gambar 4.38:	Model 2 Baut disusun Zig-zag	71
Gambar 4.39:	Tegangan-regangan baut 1 pada model baut disusun zig-zag	72
Gambar 4.40:	Tegangan-regangan baut 2 pada model baut disusun zig-zag	73
Gambar 4.41:	Tegangan-regangan baut 3 pada model baut disusun zig-zag	74
Gambar 4.42:	Tegangan-regangan baut 4 pada model baut disusun zig-zag	75
Gambar 4.43:	Tegangan-regangan baut 5 pada model baut disusun zig-zag	76
Gambar 4.44:	Tegangan-regangan baut 6 pada model baut disusun zig-zag	77
Gambar 4.45:	Tegangan-regangan baut 7 pada model baut disusun zig-zag	78
Gambar 4.46:	Tegangan-regangan baut 8 pada model baut disusun zig-zag	79
Gambar 4.47:	Model 3 Baut disusun sejajar diatas	80
Gambar 4.48:	Tegangan-regangan baut 1 pada model baut disusun sejajar diatas	81
Gambar 4.49:	Tegangan-regangan baut 2 pada model baut disusun sejajar diatas	82
Gambar 4.50:	Tegangan-regangan baut 3 pada model baut disusun sejajar diatas	83

Gambar 4.51:	Tegangan-regangan baut 4 pada model baut disusun sejajar diatas	84
Gambar 4.52:	Tegangan-regangan baut 5 pada model baut disusun sejajar diatas	85
Gambar 4.53:	Tegangan-regangan baut 6 pada model baut disusun sejajar diatas	86
Gambar 4.54:	Tegangan-regangan baut 7 pada model baut disusun sejajar diatas	87
Gambar 4.55:	Tegangan-regangan baut 8 pada model baut disusun sejajar diatas	88
Gambar 4.56:	Model 4 baut disusun sejajar diatas dan bawah	89
Gambar 4.57:	Tegangan-regangan baut 1 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	90
Gambar 4.58:	Tegangan-regangan baut 2 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	91
Gambar 4.59:	Tegangan-regangan baut 3 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	92
Gambar 4.60:	Tegangan-regangan baut 4 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	93
Gambar 4.61:	Tegangan-regangan baut 5 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	94
Gambar 4.62:	Tegangan-regangan baut 6 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	95
Gambar 4.63:	Tegangan-regangan baut 7 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	96
Gambar 4.64:	Tegangan-regangan baut 8 pada model baut disusun sejajar diatas dan bawah	97
Gambar 4.65:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> model 1 baut disusun sejajar	107
Gambar 4.66:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> model 2 baut disusun zig-zag	109

Gambar 4.67:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> model 1 baut disusun sejajar diatas	111
Gambar 4.68:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> model 1 baut disusun sejajar diatas dan bawah	113
Gambar 4.69:	Momen-Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> Tp 16	115
Gambar 4.70:	Momen-Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> Tp 20	115
Gambar 4.71:	Momen-Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	116
Gambar 4.72:	Momen-Rotasi pada sambungan <i>end-plate</i> Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	116
Gambar 4.73:	Momen pada sambungan <i>end-plate</i>	117
Gambar 4.74:	Rotasi sambungan <i>end-plate</i>	117
Gambar 4.75:	Model tata letak baut 1,2,3, dan 4	120
Gambar 4.76:	Tegangan-regangan baut 1 pada Tp 16	121
Gambar 4.77:	Tegangan-regangan baut 2 pada Tp 16	122
Gambar 4.78:	Tegangan-regangan baut 3 pada Tp 16	123
Gambar 4.79:	Tegangan-regangan baut 4 pada Tp 16	124
Gambar 4.80:	Tegangan-regangan baut 5 pada Tp 16	125
Gambar 4.81:	Tegangan-regangan baut 6 pada Tp 16	126
Gambar 4.82:	Tegangan-regangan baut 7 pada Tp 16	127
Gambar 4.83:	Tegangan-regangan baut 8 pada Tp 16	128
Gambar 4.84:	Model tata letak baut 1,2,3, dan 4	128
Gambar 4.85:	Tegangan-regangan baut 1 pada Tp 20	129
Gambar 4.86:	Tegangan-regangan baut 2 pada Tp 20	130
Gambar 4.87:	Tegangan-regangan baut 3 pada Tp 20	131
Gambar 4.88:	Tegangan-regangan baut 4 pada Tp 20	132
Gambar 4.89:	Tegangan-regangan baut 5 pada Tp 20	133
Gambar 4.90:	Tegangan-regangan baut 6 pada Tp 20	134
Gambar 4.91:	Tegangan-regangan baut 7 pada Tp 20	135
Gambar 4.92:	Tegangan-regangan baut 8 pada Tp 20	136
Gambar 4.93:	Model tata letak baut 1,2,3, dan 4	136
Gambar 4.94:	Tegangan-regangan baut 1 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	137

Gambar 4.95:	Tegangan-regangan baut 2 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	138
Gambar 4.96:	Tegangan-regangan baut 3 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	139
Gambar 4.97:	Tegangan-regangan baut 4 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	140
Gambar 4.98:	Tegangan-regangan baut 5 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	141
Gambar 4.99:	Tegangan-regangan baut 6 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	142
Gambar 4.100:	Tegangan-regangan baut 7 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	143
Gambar 4.101:	Tegangan-regangan baut 8 pada Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	144
Gambar 4.102:	Model tata letak baut 1,2,3, dan 4	145
Gambar 4.103:	Tegangan-regangan baut 1 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	146
Gambar 4.104:	Tegangan-regangan baut 2 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	147
Gambar 4.105:	Tegangan-regangan baut 3 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	148
Gambar 4.106:	Tegangan-regangan baut 4 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	149
Gambar 4.107:	Tegangan-regangan baut 5 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	150
Gambar 4.108:	Tegangan-regangan baut 6 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	151
Gambar 4.109:	Tegangan-regangan baut 7 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	152
Gambar 4.110:	Tegangan-regangan baut 8 pada Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	153
Gambar 4.111:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> Tp 16	164
Gambar 4.112:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> Tp 20	166
Gambar 4.113:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> Tp 16 dengan <i>stiffners</i>	168
Gambar 4.114:	Tegangan geser sambungan <i>end-plate</i> Tp 20 dengan <i>stiffners</i>	170

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

$a$	= Deformasi maksimum
$A_{\text{baut}}$	= Luas penampang melintang satu baut ( $\text{cm}^2$ )
$b$	= Deformasi minimum
$b_f$	= Lebar sayap kolom
$C_d$	= Faktor pembesaran simpangan lateral
$C_p$	= Koefisien tekanan dinding
$c_s$	= Koefisien respons seismik
$D$	= Beban mati
$d$	= Tinggi penampang kolom = diameter lubang pelat
$E$	= Modulus elastisitas (MPa)
$E_T$	= <i>Tangent</i> modulus
$E_x$	= Beban gempa arah x
$E_y$	= Beban gempa arah y
$e$	= Eksentrisitas
$\{F^a\}$	= Vektor beban yang bekerja
$F_a$	= Faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode pendek
FR	= <i>Fully restrained</i>
$F_v$	= Faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode 1 detik
$f_c'$	= Kuat tekan beton (MPa)
$F_u$	= Kuat tarik ultimate baja
$F_y$	= Kuat leleh baja
$G$	= Faktor hembusan angin
$G_{\text{cpi}}$	= Koefisien tekanan internal
$h_s$	= Tinggi gedung per lantai
$I$	= Momen inersia ( $\text{mm}^4$ )
$l$	= Nilai terbesar dari $m$ , $n$ , dan $\lambda_n'$
$I_e$	= Faktor keutamaan gempa
$[K]$	= Matriks kekakuan perpindahan



KDS	= Kategori desain seismik
$k_{cp}$	= Faktor pengali $V_{cp}$
kd	= Faktor arah angin
$k_e$	= Faktor elevasi permukaan tanah
kh, kz	= Koefisien eksposur tekanan kecepatan
$K_s$	= Kekakuan garis potong (N.mm/rad)
$k_{zt}$	= Faktor topografi
L	= Beban hidup
M	= Momen (KN.m)
$M_f$	= Momen Kolom (KN.m)
n	= Jumlah bidang geser = Jumlah baut min
$P_{geser}$	= Kekuatan geser izin untuk satu baut (kg)
PR	= <i>Partially restrained</i>
R	= Koefisien modifikasi respon
$S_1$	= Percepatan gempa untuk periode 1 detik
$s_1$	= Jarak terpanjang as-as baut
$s_2$	= Jarak terpendek as-as baut
$S_{DS}$	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek
$S_{D1}$	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik
$S_h$	= jarak dari muka kolom yang mungkin terjadi (m)
$S_{MS}$	= Parameter respon spektral percepatan pada periode pendek
$S_{M1}$	= Parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik
$S_s$	= Percepatan gempa untuk periode pendek
T	= Periode
$t_{bf}$	= ketebalan sayap balok
$T_L$	= Periode panjang transisi
TP, tp	= Tebal pelat ujung ( <i>end-plate</i> )
{u}	= Vektor nilai DOF ( <i>degree of freedom</i> ) perpindahan yang tidak diketahui
$V_u$	= Gaya geser pada ujung balok (KN)
$V_x$	= <i>Story shear</i> arah X (KN)

$V_y$	= <i>Story shear</i> arah Y (KN)
$V_t$	= Gaya geser dasar hasil analisis ragam
$W$	= Beban angin
$X$	= Faktor pengali untuk $\lambda$
$z$	= Ketinggian di atas permukaan tanah
$z_g$	= Elevasi tanah diatas permukaan laut
$\Delta$	= Simpangan antar tingkat
$\Delta_a$	= Simpangan antar tingkat izin
$\varepsilon$	= Regangan
$\theta$	= Koefisien stabilitas
$\theta_s$	= Rotasi saat terjadi beban layan (rad)
$\rho$	= Redudansi
$\phi$	= Rotasi (rad)
$\sigma$	= Tegangan (MPa)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Majunya konstruksi pada bangunan tidak terlepas dari elemen-elemen seperti balok-kolom yang dapat dilihat dari banyaknya bahan material yang diteliti, mulai dari material alam seperti kayu, bamboo, material khusus (beton), maupun produk buatan pabrik yang mahal yaitu baja.

Baja juga mempunyai kontrol produk yang baik, dan mutu tinggi, serta mempunyai rasio kekuatan terhadap beratnya yang relatif tinggi dan juga relatif ringan. Tinjauan ini dilihat dari segi kekuatan (tegangan), kekakuan (deformasi), dan daktilitas (perilaku keruntuhannya), membuat baja sangat cocok dipakai untuk mengevaluasi struktur yang memikul pembebanan.

Dalam memikul pembebanan suatu konstruksi dibutuhkan suatu sambungan yang berfungsi sebagai pengalihan gaya-momen internal dari satu komponen struktur ke komponen lain sehingga pembebanan dapat diteruskan ke pondasi. Setiap komponen struktur, termasuk sambungan harus direncanakan minimal sama atau lebih besar dari gaya internal sebelumnya, atau sekuat profil sambungannya.

Dalam perencanaan sambungan baut balok-kolom diperlukannya *end-plate* sebagai penyambung balok ke kolom. Adapun beberapa perilaku diantara ialah momen-rotasi dimana dapat diklasifikasikan menjadi 3 perilaku sambungan, yaitu rigid, semi-rigid, dan sederhana.

Pada tugas akhir ini penulis akan membahas tentang **Perbandingan Pengaruh Tata Letak Baut Pada Sambungan Balok-Kolom Struktur Baja** yang bertujuan untuk mempelajari tata letak baut yang terbaik serta perilaku gaya-gaya yang dihasilkan. Sambungan baut kelihatannya sangatlah sederhana, namun memiliki fungsi sangat penting dan seringkali menjadi masalah utama yang menyebabkan kegagalan struktur. Adapun penyebab terjadinya kegagalan sambungan baut pada konstruksi baja diantaranya adalah kesalahan pada saat design, kesalahan pada operasi maupun perakitan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian yang telah disampaikan maka dapat ditentukan rumusan masalah yang akan diteliti, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh momen-rotasi yang terjadi pada sambungan *end-plate* dengan model tata letak baut dan ketebalan plat yang berbeda?
2. Bagaimana klasifikasi kekakuan sambungan yang terjadi dengan model tata letak baut dan ketebalan *end-plate* yang berbeda ?
3. Bagaimana tegangan (*stressing*) dan regangan (*strain*) yang terjadi pada baut dengan model tata letak dan ketebalan yang berbeda?
4. Bagaimana pengaruh perpanjangan-perpendekan yang terjadi pada baut ?
5. Bagaimana beban tarik-tekan dan tegangan geser yang terjadi pada baut ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh momen-rotasi yang terjadi pada sambungan *end-plate* dengan model tata letak baut dan ketebalan plat yang berbeda.
2. Mengetahui klasifikasi kekakuan sambungan yang terjadi dengan kondisi tersebut.
3. Mengetahui tegangan-regangan yang terjadi pada baut saat kondisi tersebut.
4. Mengetahui pengaruh perpanjangan-perpendekan yang terjadi pada baut.
5. Mengetahui beban tarik-tekan dan geser yang terjadi pada baut.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan informasi yang jelas bagi pengembangan ilmu teknologi baja dan pengaruh yang terjadi pada baut dengan posisi yang berbeda serta diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk tahap selanjutnya, baik itu penggunaan pada tahap pelaksanaan di lapangan dan dapat dikembangkan pada penelitian yang lebih lanjut.

## 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menghindari kesimpangsiuran dalam menyelesaikan penelitian maka perlu adanya batasan masalah agar cakupannya tidak menjadi luas. Adapun yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah pengaruh tata letak sambungan baut pada balok-kolom konstruksi baja

1. Metode untuk perencanaan menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI 1725-2015) dan (SNI 7972:2013).
2. Data sambungan *End-plate* dan baut:
  - Jenis baja yang digunakan = BJ 41
  - Tegangan tarik pada baja ( $\sigma_{tarik}$ ) = 410 MPa
  - Tegangan leleh pada baja ( $\sigma_{leleh}$ ) = 250 MPa
  - Jenis baut yang digunakan = ASTM A-325
  - Tegangan tarik pada baut ( $\sigma_{tarik}$ ) = 830 MPa
  - Tegangan leleh pada baut ( $\sigma_{leleh}$ ) = 660 MPa
  - Diameter baut = 18 mm
  - Jumlah baut dalam satu baris = 4 bh
  - Jumlah baris baut = 2 baris
3. Melakukan pengujian perletakan sambungan baut yang disusun secara berbeda-beda, dimana posisi baut disusun dengan 4 model, yaitu dengan horizontal, zig-zag, sejajar diatas dengan jarak 3d, dan sejajar diatas dan dibawah dengan jarak 3d.
4. Las dianggap sudah memadai atau sesuai standart.
5. Balok yang digunakan IWF400x200 dan kolom yang digunakan yaitu H500x500.
6. Ketebalan *end-plate* 16 mm dan 20 mm
7. Ketebalan *stiffeners* 13 mm
8. Analisis menggunakan bantuan dari beberapa *software*
9. Beban yang diterapkan ialah beban vertikal bersifat monotonik

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis membagi materi yang akan disampaikan dalam beberapa bab yaitu:

## BAB 1 Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika pembahasan.

## BAB 2 Tinjauan Pustaka

Membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

## BAB 3 Metodologi Penelitian

Bagian ini menerangkan tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan metode analisis data.

## BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Merupakan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

## BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan dan analisa data yang telah didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Baja

Baja adalah bahan material konstruksi yang ketersediannya tergantung dari produk industry berat, dan tidak setiap Negara memilikinya. Komposisi baja merupakan logam paduan antara besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Dimana kandungan besi dalam baja berkisar antara 0,2% C sampai 1,7% C berat sesuai kelasnya. terdapat unsurunsur lain selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn), silikon (Si), Kromium (Cr), Vanadium (V), dan unsur lainnya. Fungsi karbon pada baja untuk sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Salmon dan Jhonson 1992). Di dalam proses pembuatannya akan Ada beberapa spesifikasi material baja yang digunakan dalam desain, yaitu:

Tabel 2.1: Spesifikasi material baja untuk keperluan desain (Dewobroto, 2016)

Tipe	Kuat leleh min. (MPa)	Kuat tarik min. (MPa)	Elongasi min. (%)
BJ 34	210	340	22
BJ 37	240	370	20
BJ 41	250	410	18
BJ 50	290	500	16
BJ 55	410	550	13

#### 2.2 Kegagalan Sambungan Baja

Sambungan pada batang tarik menjadi penyebab terbesar dari banyak kasus kegagalan yang terjadi. Beberapa variabel yang ada pada sambungan diantaranya jenis alat penyambung, jarak antar alat penyambung, konfigurasi alat

penyambung dan luasan bidang tersambung. Konfigurasi sambungan batang tarik sangat bervariasi sehingga sumbu tarik besar pada kasus tertentu yang sudah teruji, sehingga pada praktek di lapangan banyak produsen lain hanya mengikuti apa yang sudah dianggap menjadi kebiasaan umum tanpa adanya acuan yang jelas. Adapun beberapa kegagalan sebagai berikut:

- A. Kegagalan jungkit sekrup berotasi dan melukai badan pelat (tilting)
- B. Meregangnya sambungan antar pelat akibat gaya terus menerus bekerja pada sekrup (hole bearing)
- C. Sekrup yang terangkat tapi belum lepas karena masih ada drat yang tertahan di pelat dan secara teknik drat tersebut masih mampu menahan beban tarik.



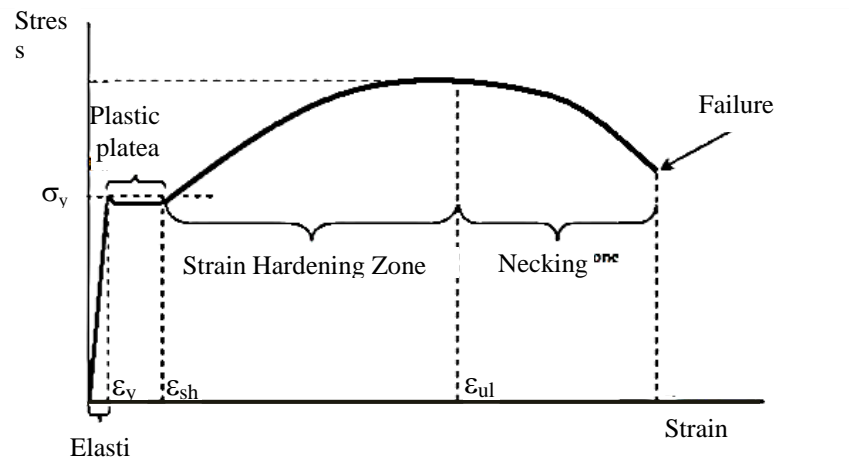
Gambar 2.1: Kegagalan sambungan baja

### 2.3 Sifat Mekanik Baja

Pengujian sifat mekanis dari baja dapat dilakukan melalui uji tarik dikarenakan bila melalui uji tekan pengujian tidak akan efektif memberikan data yang akurat terhadap sifat-sifat mekanis baja, karena disebabkan oleh adanya terjadi tekuk pada benda uji tersebut, selain itu perhitungan tegangan yang terjadi pada benda uji lebih mudah dilakukan untuk uji tarik dibandingkan dengan uji tekan.

Pada gambar dibawah menunjukkan suatu hasil uji tarik material baja pada suhu kamar serta memberikan laju regangan yang norma. Tegangan nominal ( $\sigma$ ) yang terjadi pada benda uji diplot pada sumbu vertical, sedangkan regangan ( $\epsilon$ ) yang merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang

mula-mula ( $\Delta L/L$ ) di plot pada sumbu horizontal .



Gambar 2.2: Hasil uji tarik benda uji sampai mengalami keruntuhan  
(Agus Setiawan, *Struktur Baja Metode LRFD*, 2008).

Keterangan:

- 1) Dalam Zona regangan, tegangan dan regangan bersifat proporsional, kemiringan linear yang ada merupakan modulus elastisitas/modulus young (E). Daerah ini dinamakan zona elastik, zona ini berakhir dengan ditandai dengan tercapainya kelelahan material ( $F_y$ )
- 2) Setelah awal kelelahan terjadi zona berbentuk garis datar (*flat plateau*) pada zona ini setiap peningkatan nilai regangan yang terjadi tidak ada peningkatan nilai tegangan yang mengiringinya. Daerah ini disebut plato plastis.
- 3) Saat zona plasto plastis berakhir, strain hardening mulai terjadi dan secara bertahap meningkatkan nilai tegangan sampai mencapai tegangan ultimate ( $F_u$ ). Setelah itu tegangan cenderung menurun dengan bertambahnya regangan sebagai nilai indikasi masuknya daerah neckling yang diakhiri dengan kegagalan fraktur (*failure*)
- 4) Sesuai peraturan SNI, sifat mekanik baja yang dipakai adalah:
  - a. Modulus Elastisitas,  $E = 200.000 \text{ Mpa}$
  - b. Poison ratio = 0.30
  - c. Modulus Geser,  $G = 80.000 \text{ Mpa}$
  - d. Koefisien muai panjang,  $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

## 2.4 Sambungan Struktur

Fungsi sambungan adalah mengalihkan gaya-momen internal dari satu komponen struktur ke komponen lain sehingga pembebanan dapat diteruskan ke pondasi (Dewobroto,2016) .

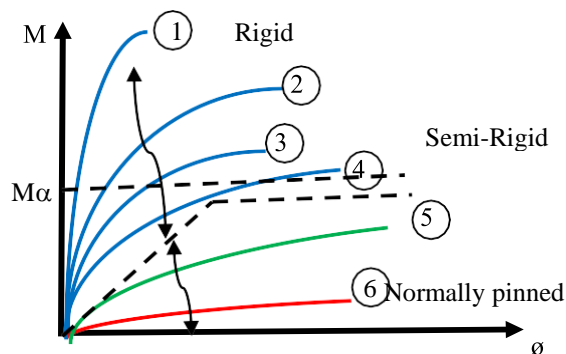
Sambungan antar balok dan kolom terdiri dari tiga elemen, yaitu : balok, kolom dan alat penyambung. Ketiga elemen tersebut harus direncanakan secara tepat dan detail agar tidak terjadi kesalahan fungsi bangunan hingga kegagalan bangunan / failure sehingga oleh karena itu maka perencanaan sambungan harus sesuai dengan syarat yang telah ditentukan. Menurut Ervina, ada beberapa kriteria dasar yang umum dalam merencanakan sambungan, antara lain yaitu:

### 1) Kekuatan (strength)

Dari segi kekuatan, sambungan harus dapat menahan momen, gaya geser, dan gaya aksial yang dipindahkan dari batang yang satu ke batang yang lain.

### 2) Kekakuan (stiffness)

Kekakuan sambungan secara menyeluruh berguna untuk menjaga posisi komponen struktur agar tidak bergerak atau berubah antara satu dengan lainnya. Pada gambar 2.6, kekakuan (rigidity) sama dengan kekakuan rotasi dimana kurva 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan sambungan rigid. Sedangkan kurva 5 termasuk dalam klasifikasi sambungan semi-rigid. Dalam peraturan BS5950 dijelaskan bahwa garis putus-putus antara rigid dengan semi-rigid diperoleh dari rumus  $2EI/L$ .

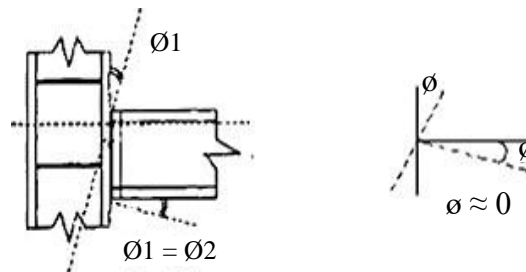


Gambar 2.3 Klasifikasi sambungan berdasarkan kekakuan

Menurut AISC-1.2 tentang perencanaan tegangan kerja (*working stress*) dan AISC-2.1 tentang perencanaan plastis, konstruksi baja dibedakan atas tiga kategori sesuai dengan jenis sambungan yang dipakai. Ketiga jenis ini adalah sebagai berikut :

A. Jenis 1 AISC. Sambungan portal kaku (*rigid connection*)

Sambungan kaku umumnya harus memikul momen ujung  $M_1$ , yang sekitar 90% dari  $M_{Fa}$  atau lebih, Sambungan ini memiliki kontinuitas penuh sehingga sudut pertemuan antara batang-batang tidak berubah, yakni pengekangan (*restraint*) rotasi sekitar 90% atau lebih dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut (siku di badan).



Gambar 2.4 Distribusi momen tahanan terhadap momen jepit sempurna pada sambungan kaku (Ervina Sari, 2003)

B. Jenis 2 AISC. Sambungan kerangka sederhana (*simple framing*)

Sambungan sederhana hanya dapat menahan 20% dari momen  $M_{Fa}$  atau kurang, seperti yang ditunjukkan oleh momen  $M_2$  (siku di sayap).

C. Jenis 3~AISC. ~Sambungan kerangka semi-kaku (*semi-rigid connection*)

Sambungan semi-kaku diperkirakan menahan momen sebesar  $M_3$ , yang mungkin sekitar 50% dari momen primer  $M_{Fa}$  (Siku badan dan sayap).

3) Kapasitas rotasi

Pada sambungan yang direncanakan untuk menahan momen plastis, titik simpulnya dapat dibuat tidak terlalu kaku (*rigid*). Namun demikian, derajat kekakuannya harus cukup untuk memungkinkan redistribusi momen yang sesuai dengan asumsi analisis.

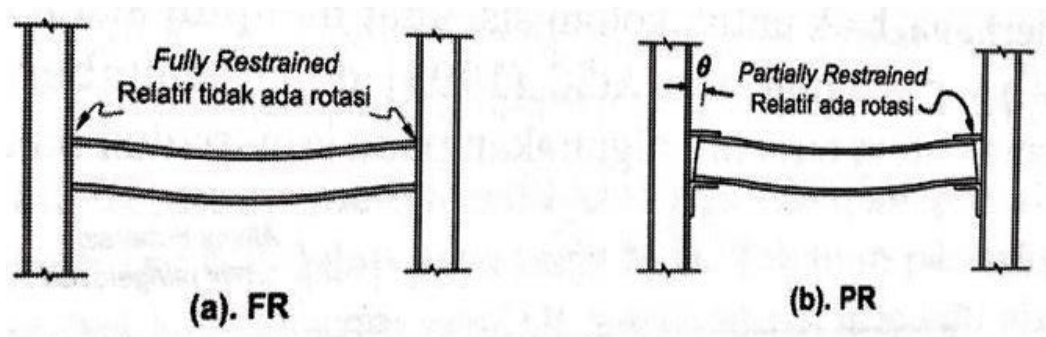
4) Cukup ekonomis

Sambungan harus cukup sederhana agar biaya fabrikasinya murah,

namun tetap memenuhi syarat kekuatan dan kemudahan dalam pelaksanaannya.

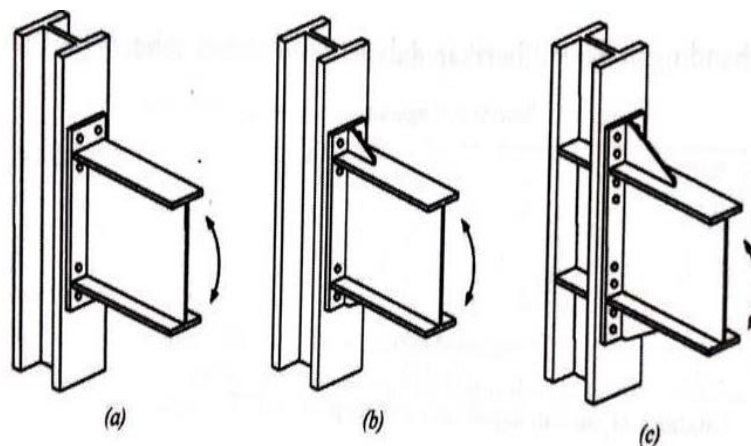
#### 2.4.1 Sambungan Momen *End-Plate*

Sambungan momen struktur baja dapat dibagi dua, yaitu FR (*Fully Restrained*) atau sambungan rigid seperti profil utuh; dan PR (*Partially Restrained*) atau sambungan semi-rigid atau elastis, dimana pada kondisi beban tertentu elemen-elemen sambungan bisa berotasi. Untuk memahami dapat mempelajari gambar di bawah ini:



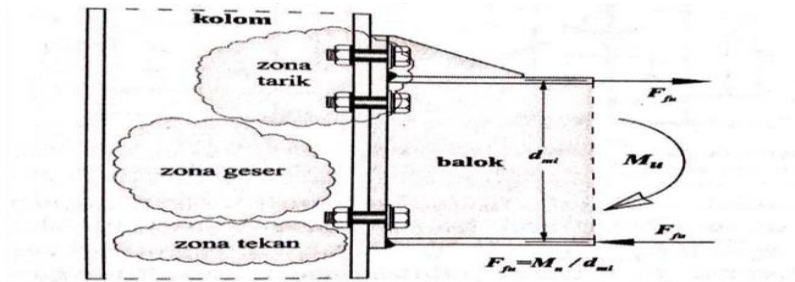
Gambar 2.5 : Perilaku sambungan momen pada struktur baja (Dewobroto, 2016)

Sambungan momen tipe FR tidak perlu pemodelan khusus untuk analisis strukturnya, karena dapat dianggap sebagai penampang utuh, yang meneruskan momen sekaligus gaya geser dan aksial.



Gambar 2.6 : Sambungan *end-plate* dengan pengaku (Dewobroto. 2016)





Gambar 2.7 : Zona kritis kolom akibat gaya reaksi sambungan

## 2.4.2 Baut

Era sistem sambungan dengan paku kelling telah usai, saat ini sambungan yang dapat diandalkan untuk perakitan struktur baja di lapangan adalah baut, tepatnya baut mutu tinggi. Spesifikasi baut mutu tinggi menurut ketentuan J3.1 AISC (2010) terdiri dari dua grup (2) utama, yaitu baut biasa (ASTM A307) dan baut mutu tinggi (ASTM A325 dan A490). Dapat dilihat pada table 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.2: Kuat Nominal Baut (sumber: table J3.2 dari AISC 2010).

Baut atau alat sambung berulir	Tarik, $F_{nt}$ (Mpa)	Geser, $F_{nv}$ (Mpa)	Keterangan
A307 (baut mutu biasa)	310	188 (165)	Non-struktur
Baut atau alat sambung berulir	Tarik, $F_{nt}$ (Mpa)	Geser, $F_{nv}$ (Mpa)	Keterangan
A325 (baut mutu tinggi) Jenis baut di group A	620	372 (330)	Geser pada ulir drat
		457 (414)	Geser pada grip polos
A490 (baut mutu tinggi) Jenis baut di group B	780	457 (414)	Geser pada ulir drat
		579 (520)	Geser pada grip polos
Alat sambung dengan ulir (missal : baut angkur )	0,75 $F_u$	0,45 $F_u$ (0,40 $F_u$ )	Geser pada ulir drat
		0,563 $F_u$ (0,50 $F_u$ )	Geser pada grip polos

Adapun standarisasi diameter lubang menurut AISC 2010, terlampir pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3: Standarisasi Diameter Lubang Baut (sumber:Table J3.3M dari AISC 2010).

Diameter baut	Dimensi Lubang				
	Standar (diameter)	Ukuran lebih (diameter)	Slot-pendek (bxh)	Slot panjang (bxh)	Jarak tepi minimum
M16	18	20	18x22	18x40	22
M20	22	24	22x26	22x50	26
M22	24	28	24x30	24x50	28
M24	27	30	27x32	27x60	30
M27	30	35	30x37	30x67	34
M30	33	38	33x40	33x75	38
≥M36	D+3	D+8	(d+3)x(d+10)	(d+3)x 2 <sub>1/2</sub> d	1,25d

#### 2.4.2.1 Sambungan baut tipe tarik

Dari tabel 2.3 tentang kuat nominal baut mutu tinggi, ditunjukkan bahwa kuat tarik baut  $F_{nt} = 0,75 F_u$  dan kuat gesernya  $F_{nv} = 0,45 F_u$ , itu berarti kuat tarik adalah 1,67 kali lebih besar dari kuat geser. Meskipun berbeda secara menyolok, sambungan baut tipe tarik tidak otomatis lebih populer dibandingkan sambungan tipe geser.

## 2.5 Kekuatan Sambungan Batang Tarik Pelat Baja

Perencanaan kekuatan sambungan batang tarik pelat baja dengan metode ASD merujuk pada PPBBI 1983.

### 2.5.1 Kuat Tarik Pelat Pada Penampang Netto Kritis

Kekuatan batang tarik dipengaruhi oleh luas netto penampang sambungan Salmon dan Johnson (1997) menyatakan, bila batang tarik disambung dengan baut, lubang-lubang harus disediakan pada sambungan. Akibatnya luas penampang lintang batang di sambungan mengecil dan beban tarik yang diizinkan pada batang juga bias berkurang sesuai dengan ukuran dan letak lubang. Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI). 1983, menyatakan bahwa, ukuran maksimum dari diameter lubang baut sama dengan diameter baut ditambah 1 mm atau 1/16". Untuk baut mutu tinggi, diameter baut ditambah 2 mm.

Luas netto penampang sambungan dan perletakkan baut dapat memengaruhi garis keruntuhan yang akan terjadi akibat beban tarik. Salmon dan Johnson (1997) menyatakan bila pada suatu batang terdapat lebih dari satu lubang dan lubang-lubang tersebut tidak terletak pada satu garis yang tegak lurus arah pembebanan (berseling), maka banyaknya garis keruntuhan yang potensial akan lebih dari satu. Garis keruntuhan yang menentukan adalah garis netto terkecil.

### 2.5.2 Kekuatan Geser Alat Sambung

Sambungan antara elemen tarik sangat penting untuk menghindari keruntuhan, Spiegel dan Limbrunner (1991) menyatakan, sambungan berfungsi terutama untuk meneruskan beban dari suatu elemen ke elemen bertemu. Jenis paling umum dari sambungan baja struktural yang digunakan saat ini adalah sambungan yang menggunakan baut dan las.

Kekuatan pikul beban sebuah baut yang mengalami geser sama dengan hasil kali antara luas penampang melintang baut, tegangan geser izin dan jumlah bidang geser.

$$P_{\text{geser}} = n A_{\text{baut}} \tau$$

$P_{\text{geser}}$  = kekuatan geser izin untuk satu baut (kg)

$A_{\text{baut}}$  = luas penampang melintang satu baut (cm<sup>2</sup>)

T = tegangan geser izin baut (kg/cm<sup>2</sup>)

n = jumlah bidang geser

### 2.5.3 Kekuatan Tumpu Pelat

Salmon dan Johnson (1997) menyatakan, disamping kekuatan tarik pelat pada penampang netto kritis dan kekuatan geser alat sambung harus memadai, kekuatan tumpu pelat juga harus memadai untuk mencegah kehancuran. Untuk mencegah terkoyaknya ujung pelat akibat desakan baut, PPBBI (1983) mengatur jarak antara sumbu baut ke ujung pelat sesuai dengan tegangan tumpu yang diizinkan.

$$\sigma_{tu} = 1,5\sigma \text{ untuk } s_1 \geq 2d$$

$$\sigma_{tu} = 1,2\sigma \text{ untuk } 1,5 d \leq s_1 \leq 2d$$

$S_1$  = Jarak dari sumbu baut ke ujung pelat (cm)

$d$  = Diameter baut (cm)

$\sigma$  = Tegangan dasar pelat ( $\text{kg/cm}^2$ )

Pada bidang kontak antara baut dan pelat terjadi tegangan yang disebut kekuatan tumpu

$$P_{\text{tumpu}} = d s \sigma_{tu} = d s 1,5 \sigma$$

$P_{\text{tumpu}}$  = Kekuatan tumpu pelat (kg)

$d$  = Diameter lubang pada pelat (m)

$s$  = Terkecil antara pelat yang disambung dengan pelat

$\sigma_{tu}$  = Tegangan tumpu izin ( $\text{kg/cm}^2$ )

Dari besarnya kekuatan geser alat sambung, kekuatan tumpu pelat, dapat ditentukan besarnya beban yang dapat dipikul oleh batang tarik yaitu dengan mengalikan beban minimum antara kekuatan tumpu pelat dan kekuatan geser dengan jumlah baut yang digunakan sebagai alat sambung.

$$P = n P_{\text{min}}$$

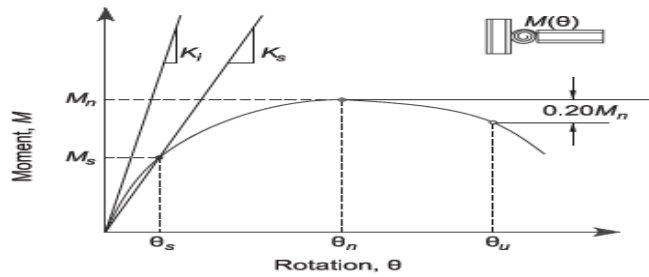
$P$  = Beban yang dapat ditahan batang tarik (kg)

$n$  = Jumlah baut min

$P_{\text{min}}$  = Beban minimum antara kekuatan geser baut dan kekuatan tumpu pelat (kg)

## 2.6 Klasifikasi Sambungan berdasarkan AISC 360-10

Asumsi dasar yang dibuat dalam mengklasifikasikan sambungan adalah bahwa perilaku karakteristik sambungan dapat di modelkan dengan kurva momen-rotasi ( $M-\theta$ ). Pada gambar 2.7 menunjukkan kurva momen-rotasi ( $M-\theta$ ).



Gambar 2.8 Definisi kekakuan, kekuatan, dan karakteristik daktilitas momen-rotasi (Anonim 2010)

Pada kekakuan sambungan untuk kekakuan garis potong (*secant stiffness*),  $K_S$ , saat beban layan diambil sebagai indeks dari kekakuan sambungan, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_S = \frac{M_S}{\theta_S}$$

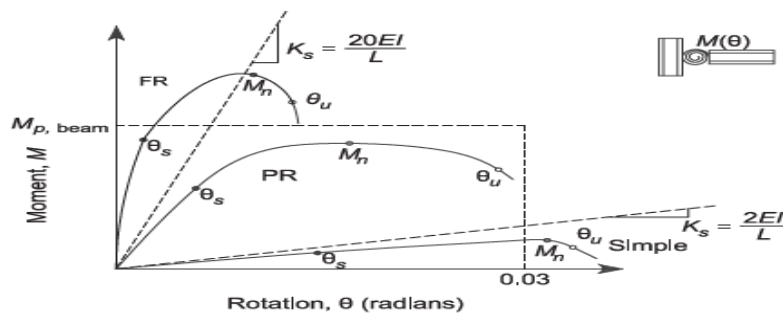
Dimana:

$K_S$  = kekakuan garis potong (N.mm/rad)

$M_S$  = moment saat terjadi beban layan (N.mm)

$\theta_S$  = rotasi saat terjadi beban layan (rad)

Jika  $K_S.L/EI \geq 20$ , maka dapat dianggap sebagai sambungan *fully restrained* atau *rigid*. Dan jika  $K_S.L/EI \leq 2$ , maka dapat dianggap sebagai sambungan *simple*. Sambungan dengan kekakuan yang berada di antara 2 batas tersebut dianggap sebagai *partially restrained* atau *semi-rigid*. Kondisi tersebut terdapat pada gambar 2.8.



Gambar 2.9 Klasifikasi momen-rotasi dengan batas *fully restrained* (FR), *partially restrained* (PR), dan *simple* (Anonim 2010)

## 2.7 Tegangan-Regangan

Hubungan antar tegangan-regangan dideskripsikan oleh Robert Hooke dapat diekspresikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Dimana:

$\sigma$  = tegangan (MPa)

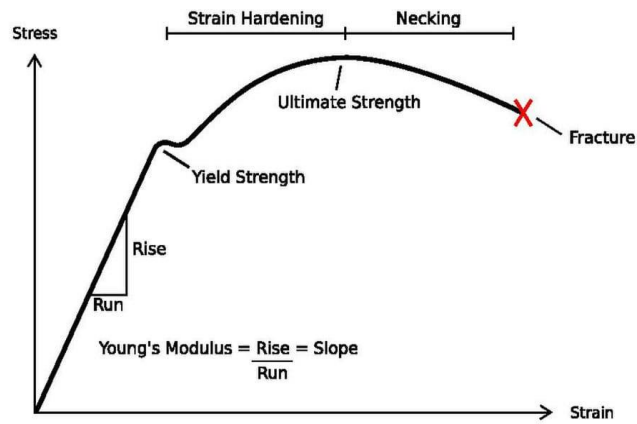
E = modulus elastisitas (MPa)

$\varepsilon$  = regangan

Beberapa karakteristik material dapat dilihat dari grafik diatas:

- 1) 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.
- 2) 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 meningkat hingga titik leleh atas.
- 3) *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.
- 4) *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.

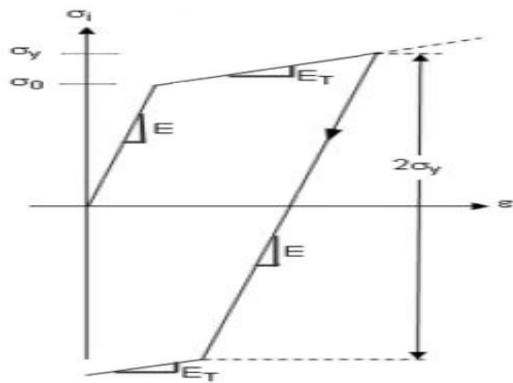
Terdapat grafik hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada material baja pada gambar 2.10



Gambar 2.10: Grafik tegangan-regangan baja

## 2.8 Bilinier Isotropic Hardening

*Bilinier isotropic hardening* dapat dideskripsikan sebagai kurva stress strain menggunakan modulus elastis ( $E$ ) dan tangent modulus ( $E_T$ ). Slope awal dari kurva digambarkan dengan modulus elastis, setelah melewati *yield stress* ( $\sigma_s$ ) regangan plastis terjadi tegangan vs total regangan terus terjadi dan dinyatakan dengan slope yang didefinisikan sebagai tangent modulus ( $E_T$ ) yang diinput. Tangent modulus tidak boleh bernilai negatif atau lebih besar dari modulus elastisitas.



Gambar 2.11 Kurva *bilinier isotropic hardening* (ANSYS, INC, 2017)

Untuk semua jenis baja, modulus elastis ( $E$ ) adalah 200.000 MPa dan tangent modulus kondisi strain-hardening, sekitar 1/30-an kali kondisi elastisnya, yaitu 6700 MPa. (Dewobroto,2016).

## 2.9 Tegangan Von Mises

Teori *Von Mises* (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh (leleh) bilamana tegangan normal itu tidak tergantung dari orientasi atau sudut  $\theta$  (*invariant*) kedua *deviator* tegangan  $J_2$  melampaui harga kritis tertentu:

$$J_2 = K^2$$

Dengan  $J$  adalah yield untuk kondisi Von-Mises ( $N/m^2$ ) dan  $k$  adalah tegangan luluh bahan pada geser murni ( $N/m^2$ ) dimana:

$$J_2 = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{6}$$

Dimana:

$\sigma$  adalah tegangan tarik bahan ( $N/m^2$ ).

Untuk mengevaluasi tetapan  $k$  dan menghubungkannya dengan tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial akan terjadi bila  $\sigma_1 = \sigma_0$ ,  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  sehingga didapatkan bentuk kriteria luluh Von Mises

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$$

## 2.10 Metode Newton-Raphson

Metode iterasi merupakan metode yang sering digunakan untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan nonlinier, disamping metode inkremental. Metode iterasi yang digunakan adalah metode Newton-Raphson dengan solusi linier pada pendekatan pertama. Untuk iterasi selanjutnya, tegangan dan regangan yang sesungguhnya di tentukan dengan menghitung baik linier maupun kontribusi nonlinier dari pendekatan sebelumnya. Proses diskritisasi elemen hingga memberikan sejumlah persamaan simultan:

$$[K]\{u\} = \{F^a\}$$



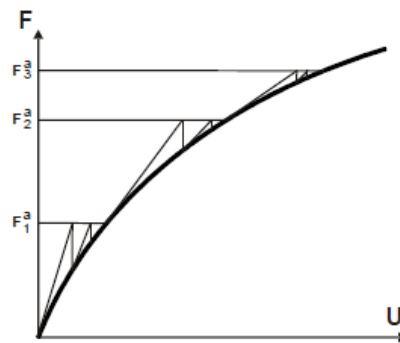
Dimana:

$[K]$  = matriks kekakuan perpindahan

$\{u\}$  = vektor nilai DOF (*degree of freedom*) perpindahan yang tidak diketahui

$\{F^a\}$  = vektor beban yang bekerja

Solusi tahapan beban pada Newton-Raphson dengan langkah iterasi pada setiap tambahan beban diilustrasikan pada gambar 2.10.



Gambar 2.12: Prosedur inkremental beban pada metode Newton-Raphson  
(ANSYS,2004)

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

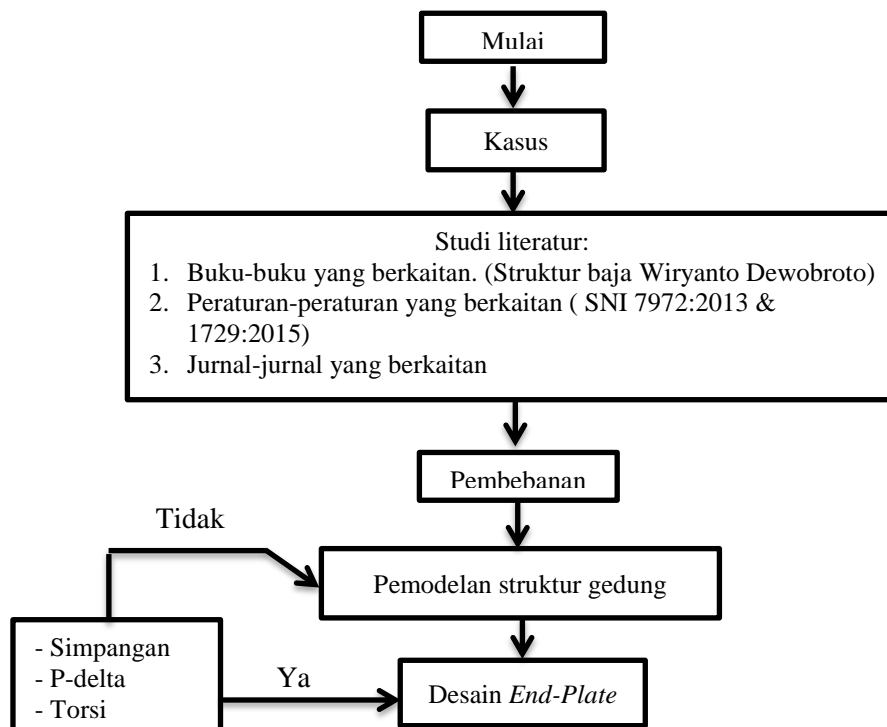
Metode penelitian merupakan sekumpulan kegiatan, peraturan serta prosedur yang dipakai oleh penelitian suatu disiplin ilmu.

##### 3.1.1 Literatur

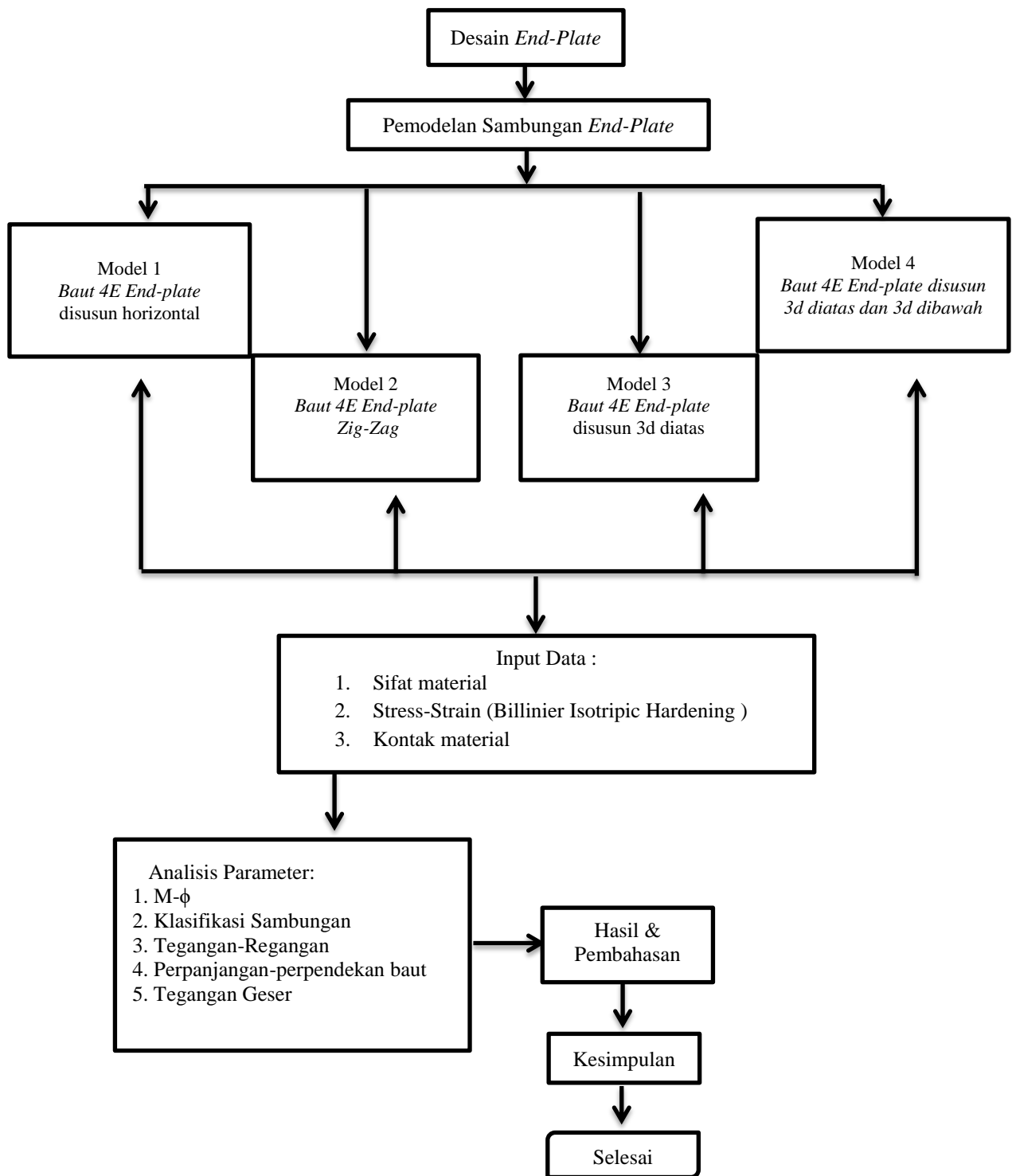
Literatur adalah upaya mencari data tentang analisis yang akan dilakukan yang berupa buku serta jurnal-jurnal yang berhubungan dengan judul tugas akhir.

#### 3.2 Tahap Pengumpulan Dan Pengolahan Data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisis perbandingan pada sambungan *end-plate* dilakukan beberapa tahapan seperti pada gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1: Diagram alir pembuatan dan analisis pada *end-plate*



Gambar 3.1: Lanjutan Diagram alir pembuatan dan analisis pada *end-plate*

### 3.3 Mulai

Awal dilakukannya pengumpulan data tugas akhir ini.

### 3.4 Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian mengenai Tata letak sambungan baut pada balok-kolom struktur baja ada beberapa referensi yang telah dilakukan diantaranya:

- A. Pada jurnal Banu Dwi Handono, Ronny Pandelege yang berjudul *“Perilaku Sambungan Baut Flush End-Plate Balok Kolom Baja Pada Kondisi Batas”* membahas mengenai:
  - a. Dalam analisis sembilan model sambungan dengan variasi tebal end-plate dan diameter baut menunjukkan semakin besarnya diameter dan tebalnya end-plate maka semakin kecil pula momen ultimate dan kapasitas rotasi yang bekerja
  - b. Dalam membuat kontak pada aplikasi ansys jurnal ini menyarankan agar menentukan area dan tipe yang akan di kontak sesuai dengan perilaku model yang akan di analisis
- B. Pada jurnal Handi Utama Thomas dan Johannes Tarigan yang berjudul *“Analisis Perbandingan Tegangan Baut Sambungan Balok-Kolom Antara Metode Manual Dengan Metode Numerik(Ansys)”* membahas mengenai perbedaan hasil perhitungan secara manual dan aplikasi ansys dimana hasil hasil yang di dapat penulis deformasi pada sambungan balok-kolom dengan aplikasi cendrung menurun dari baut teratas hingga ke bawah, hal ini menunjukkan perpendekan-perpanjangan terbesar berada pada baut baris teratas.
- C. Pada jurnal Djoko Setiyarto yang berjudul *“Pengaruh Tata Letak Baut Sambungan Momem Sebidang Struktur Baja Cold Formed)”* membahas mengenai semakin bertambahnya baut akan menghasilkan penambahan kekuatan sambungan, namun pengaruh tata letak baut akan turut menentukan kekuatan sambungan.
- D. Pada jurnal Ignatio Sahat Parulia Manalu dan Johannes Tarigan yang berjudul *“Analisis Sambungan Baut Terhadap Gaya Geser Dengan*

*Perhitungan Manual Dan Program Ansys*” membahas perbandingan distribusi tegangan , gaya serta displacement yang terjadi pada sambungan baut dengan simulasi program ANSYS Workbench V.15 dan membandingkannya dengan metode perhitungan manual berdasarkan LRFD yang mengacu pada SNI 1729:2015 dengan memperhitungkan pengaruh jarak baut pada konfigurasi sambungan.

E. Pada buku peraturan AISC 360-10 dan buku Wiryanto Dewobroto yang berjudul “Struktur Baja perirkau, Analisis & Desain- AISC 2010 Edisi ke-2” mengambil beberapa pembahasan yang berkaitan dengan momen-rotasi dan materi-materi *sambungan baut* serta tipe-tipenya

F. Pada PPIUG 1987 mengambil materi atau ketentuan pada beban mati tambahan.

G. RSNI2 1727-2018 tentang “Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain”, mengambil teori mengenai beban hidup dan beban angin serta kombinasi pembebanan sesuai syarat.

SNI 1729:2015 tentang “Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural” mengambil teori mengenai syarat jarak tepi ke baut dan jarak antara as-as baut

### **3.5 Data Pembebanan Pada Struktur Gedung**

Perhitungan pada struktur gedung berpedoman dalam peraturan PPIUG 1987 untuk beban mati, RSNI 1726-2019 untuk beban gempa, dan RSNI 1727-2019 untuk beban angin dan kombinasi beban.

#### **3.5.1 Beban Mati**

Beban mati merupakan semua beban yang berasal dari berat struktur itu sendiri termasuk segala unsur tambahan yang merupakan satu kesatuan dengannya. Beban mati yang digunakan dalam struktur gedung ini terdapat pada tabel 3.1 dan nilai tersebut diperhitungkan dan di input ke dalam software dan dapat dilihat pada lampiran 1.1.

Tabel 3.1: Beban mati struktur gedung

Komponen	Beban Mati
Pasir	24 kg/m <sup>2</sup>
Semen	21 kg/m <sup>2</sup>
Penutup Lantai Ubin	24 kg/m <sup>2</sup>
Penggantung langit-langit	7 kg/m <sup>2</sup>
Setengah bata	250 kg/m <sup>2</sup>

### 3.5.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan semua beban yang diakibatkan penghunian atau penggunaan pada struktur bangunan. Pemodelan struktur gedung ini difungsikan sebagai perkantoran, pembebanan dapat dilihat pada tabel 3.2 dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 1.1

Tabel 3.2: Beban hidup perkantoran

Komponen	Beban Hidup
Lobi dan Koridor lantai pertama	4,79 KN/m <sup>2</sup>
Kantor	3,4 KN/m <sup>2</sup>
Koridor diatas lantai pertama	3,83 KN/m <sup>2</sup>
Atap Datar	0,96 KN/m <sup>2</sup>

### 3.5.3 Beban Angin

Beban angin merupakan semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (PPIUG 1983).

Data kecepatan diambil dari BPS (Badan Pusat Statistik) sebesar 11,988 km/jam. Adapun data lainnya yang dibutuhkan untuk beban angin di antaranya:

- A. Faktor angin,  $K_d$  = 0,85
- B. Kekasaran permukaan = B
- C. Eksposur = C
- D. Faktor Topografi,  $K_{zt}$  = 1,1119
- E. Faktor elevasi permukaan tanah,  $K_e$  = 0,9234
- F. Koefisien eksposur tekanan kecepatan,  $K_h$  dan  $K_z$  = 1,148
- G. Tekanan kecepatan,  $q_z$  = 6,811
- H. Faktor efek hembusan angin,  $G$  = 0,85
- I. Koefisien tekanan internal Bangunan tertutup,  $G_{cpi}$  = 0,18

- J. Koefisien tekanan dinding,  $C_p$
- a. Angin datang = 0,8
  - b. Angin pergi = 0,5

### 3.5.4 Beban Gempa

Dalam menganalisis beban gempa metode yang digunakan adalah analisis spektrum respons ragam. Hal ini berdasarkan RSNI 1726-2019. Ada beberapa hal yang penting dalam perencanaan struktur gedung akibat gempa diantaranya:

- A. Lokasi : Bandung
- B. Fungsi Bangunan : Perkantoran
- C. Kelas situs : Diasumsikan tanah sedang
- D. Kategori resiko : II (Dua)
- E. Faktor Keutamaan Gempa : 1,0
- F. Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  dapat dilihat pada lampiran 1.2.3
- G. Respon Spektrum dapat dilihat pada lampiran 1.2.4
- H. Kategori Desain Seismik  
KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek = D  
KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 dtk = D
- I. Nilai  $R$ ,  $\Omega_0$ , dan  $C_d$   
Sistem yang digunakan untuk struktur gedung ini ialah sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan dapat dilihat pada lampiran 1.2.8

### 3.5.5 Kombinasi Beban

Kombinasi beban dihitung berdasarkan RSNI 1727-2019 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Kombinasi beban yang digunakan dalam struktur gedung ini ialah:

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L
- 1,2D + L

- $1,2D + 0,5W$
- $1,2D + W + L$
- $0,9D + W$
- $1,53D + L + 0,39E_x + 1,3E_y$
- $1,53D + L + 0,39E_y + 1,3E_x$
- $0,74D + 0,39E_x + 1,3E_y$
- $0,74D + 0,39E_y + 1,3E_x$

Ket:

D = Beban mati

L = Beban hidup

W = Beban angin

$E_x$  = Beban gempa arah X

$E_y$  = Beban gempa arah Y

### 3.6 Pemodelan Struktur Gedung

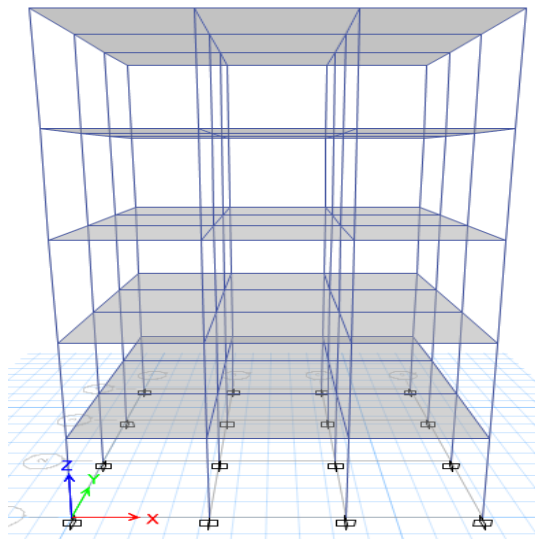
Struktur gedung yang di buat dengan pemodelan 3D dengan data struktur gedung sebagai berikut:

Tinggi gedung = 19,5 m

Tinggi lantai pertama (1) = 3,5 m

Tipikal lantai = 4 m

Lebar kolom ke kolom = 4 m



Gambar 3.2: Model gedung 5 lantai 3D



Dalam mendesain sambungan balok-kolom, titik yang ditentukan merupakan titik yang mengalami momen dan gaya geser terbesar sehingga data yang didapatkan berada pada grid 4A yaitu B1 untuk balok IWF 400 x 200 dan C1 untuk kolom H 500 x 500 dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3: Bagian gedung yang ditinjau

### 3.7 Pengecekan Struktur Gedung

#### 3.71 Simpangan Antar Lantai

Dalam menentukan simpangan antar lantai harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat. Dalam RSNI 1726-2019 Simpangan antar tingkat ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat yang diizinkan ( $\Delta_a$ ). Hal ini dapat dilihat pada lampiran 1.2.16.

Dari pengecekan tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur tidak melebihi simpangan antar lantai izin.

#### 3.72 P-delta

Berdasarkan RSNI 1726-2019 untuk pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien

stabilitas ( $\theta$ ) lebih kecil dari 0,1. Dapat dilihat pada lampiran 1.2.17.

Dari pengecekan tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur P-delta tidak perlu di analisis dikarenakan nilai  $\theta_{\max} \leq 0,1$  ataupun 0,25.

### **3.73 Pengecekan Torsi**

Berdasarkan RSNI 1726-2019, torsi memiliki dua hal, diantaranya torsi bawaan dan torsi tidak terduga. Untuk torsi bawaan diafragma yang tidak fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan  $M_t$ , akibat eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma yang fleksibel distribusi gaya ke elemen vertikal harus diperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukungnya.

Untuk torsi bawaan, jika diafragma tidak fleksibel desain harus menyertakan momen torsi bawaan ( $M_{ta}$ ) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga ( $M_t$ ) akibat perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sebesar 5% dimensi tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

Pada pembesaran torsi ( $A_x$ ) harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan  $M_{ta}$  dimasing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ). Dimana  $A_x$  tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3. dan dapat dilihat pada lampiran 1.2.18

Dari pengecekan tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur mengalami torsi tidak kecil dari 1 maupun melebihi dari 3.

### **3.74 Ketidakberaturan Horizontal**

Dalam RSNI 1726-2019 untuk ketidakberaturan horizontal tipe 1a dikatakan ada jika simpangan antar tingkat maksimum lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung. Dapat dilihat pada lampiran 1.2.19

### **3.75 Ketidakberaturan Vertikal**

Dalam RSNI 1726-2019 untuk ketidakberaturan vertikal tipe 1a dikatakan

ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Terdapat pada lampiran 1.2.20

Dari pengecekan tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 1a.

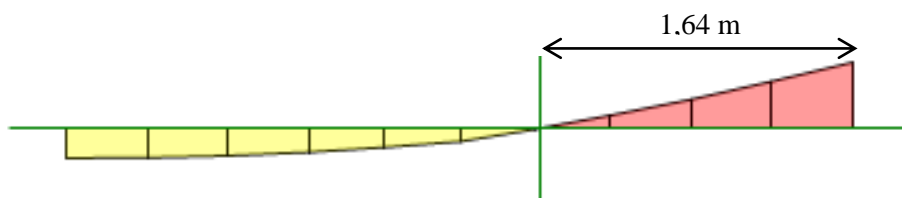
untuk ketidakberaturan vertikal tipe 1b dikatakan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Dapat dilihat pada lampiran 1.2.21.

Dari pengecekan di atas dapat disimpulkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 1b.

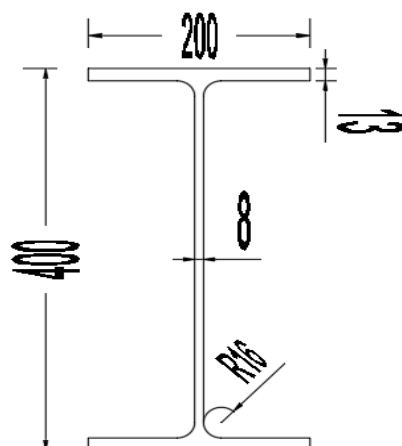
### 3.8 Pemodelan Sambungan *End-Plate*

#### 3.8.1 Dimensi Balok

Dalam memodelkan sambungan *end-plate* profil yang digunakan untuk balok yaitu IWF 400 x 200 dengan panjang yang didapat dari momen pada gedung.



Gambar 3.4: Panjang balok yang akan digunakan



Gambar 3.5: Dimensi balok IWF 400 x 200

Tabel 3.3 Dimensi balok IWF 400 x 200

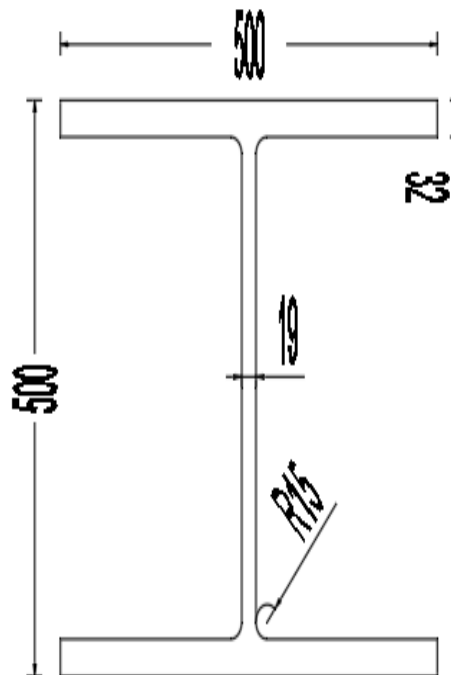
Tinggi	Lebar	Tebal <i>web</i>	Tebal <i>flange</i>	<i>Fillet</i>
400 mm	200 mm	8 mm	13 mm	16 mm

### 3.8.2 Dimensi Kolom

Dalam memodelkan sambungan *end-plate* profil yang digunakan untuk kolom yaitu H 500 x 500 dengan tinggi yang didapat dari momen pada gedung.



Gambar 3.6: Tinggi kolom yang akan digunakan



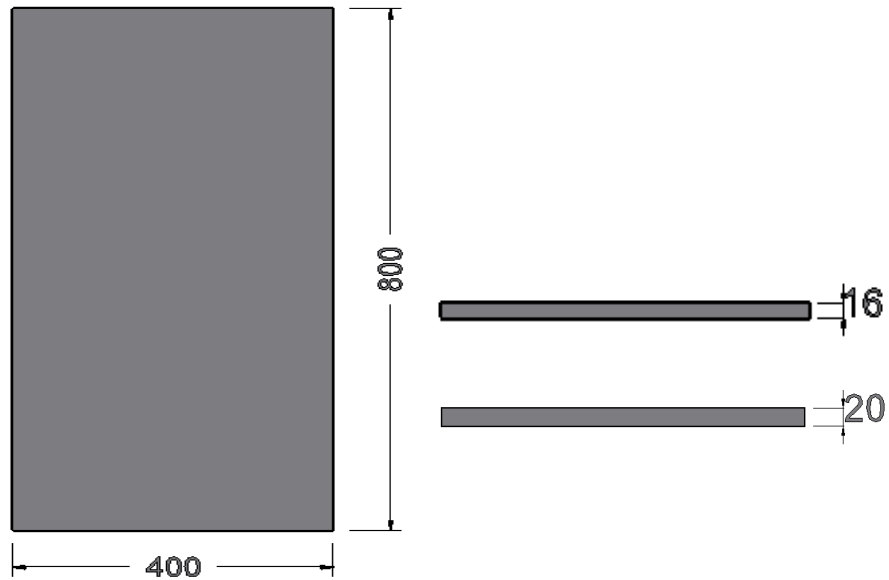
Gambar 3.7: Dimensi kolom H 500 x 500

Tabel 3.4: Dimensi kolom H 500 x 500

Tinggi	Lebar	Tebal <i>web</i>	Tebal <i>flange</i>	<i>Fillet</i>
500 mm	500 mm	19 mm	32 mm	15 mm

### 3.8.3 Dimensi *End-Plate*

Dimensi *end-plate* terdapat pada gambar dibawah ini:



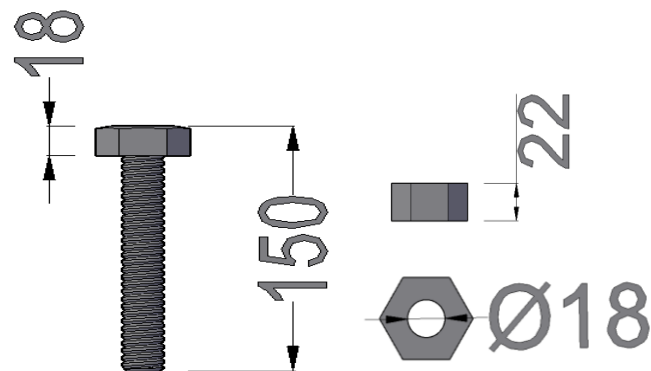
Gambar 3.8: Dimensi *end-plate* model 1 dan 2

Tabel 3.5: Dimensi *end-plate* 800 x 400

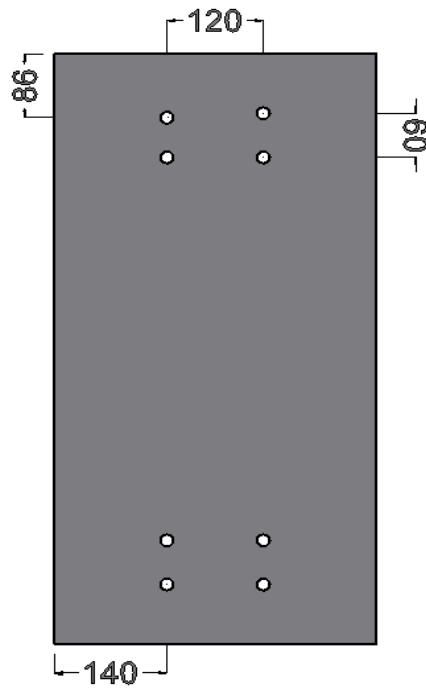
Tinggi	Lebar	Tebal
800 mm	400 mm	16 mm
		20 mm

### 3.8.4 Jarak Baut dan Dimensi Baut

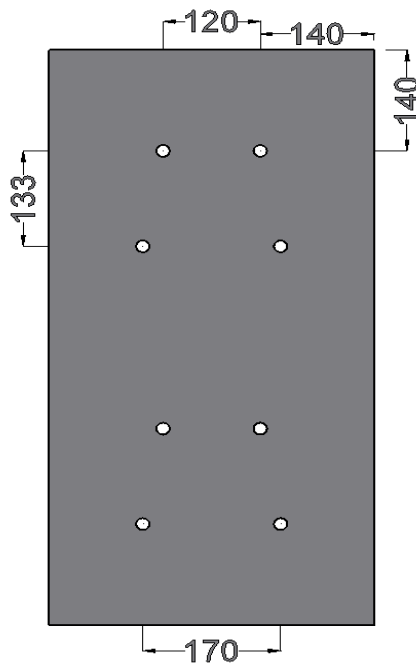
Berdasarkan SNI 1729-2015 untuk diameter 18 mm jarak tepi baut dan dimensi baut-nut seperti pada gambar di bawah ini:



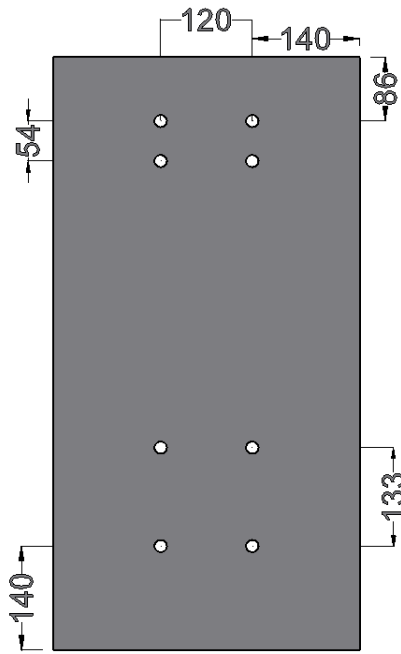
Gambar 3.9: Dimensi baut-nut



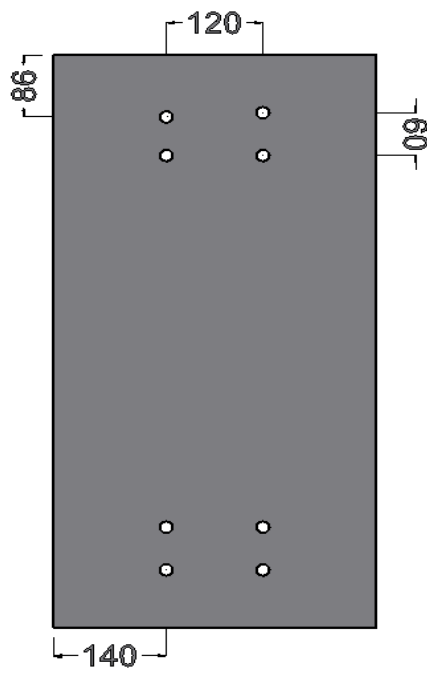
Gambar 3.10: Jarak tepi baut model 1



Gambar 3.11: Jarak tepi baut model 2



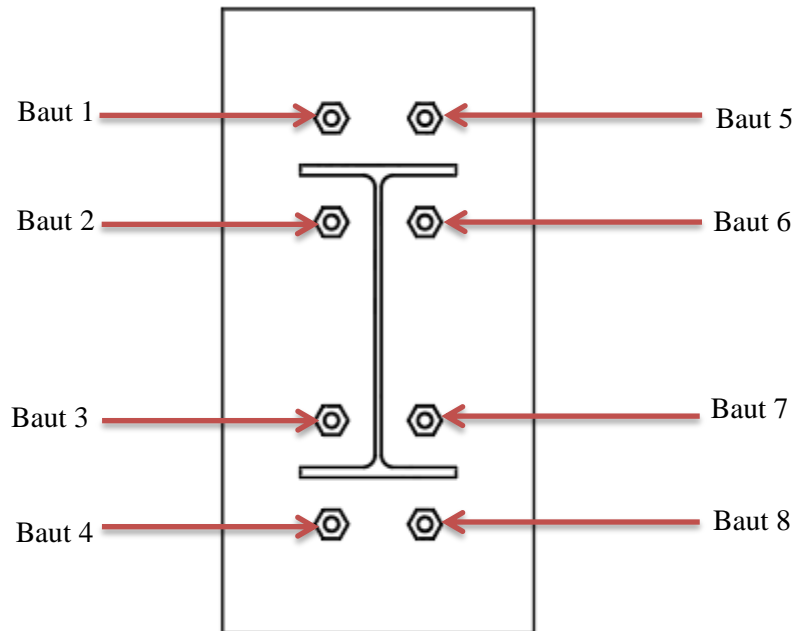
Gambar 3.12: Jarak tepi baut model 3



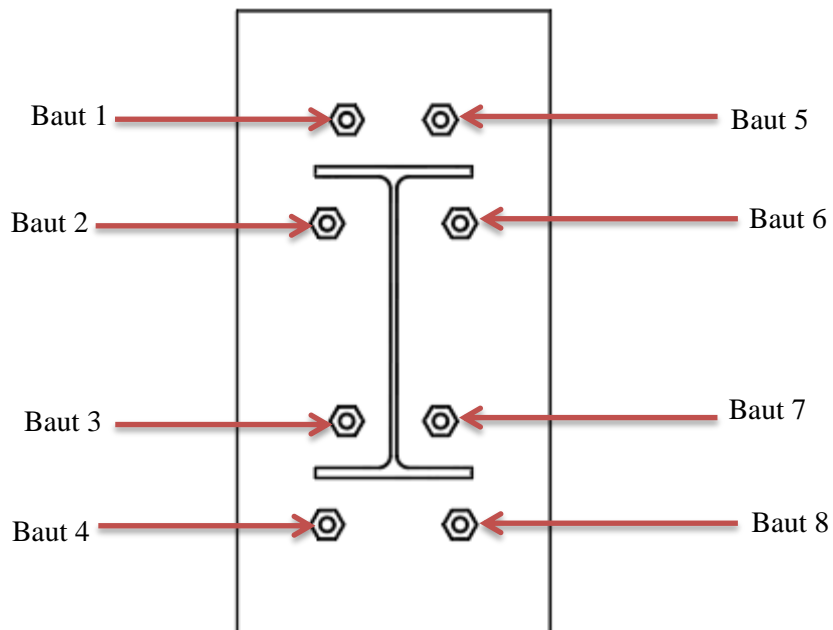
Gambar 3.13: Jarak tepi baut model 4

### 3.8.5 Bentuk-Bentuk Tata Letak Baut Pada Sambungan *End-Plate*

Ada delapan dan 2 ketebalan bentuk sambungan *end-plate* yang akan di analisis sesuai dengan parameter-parameter yang di tinjau , diantaranya:

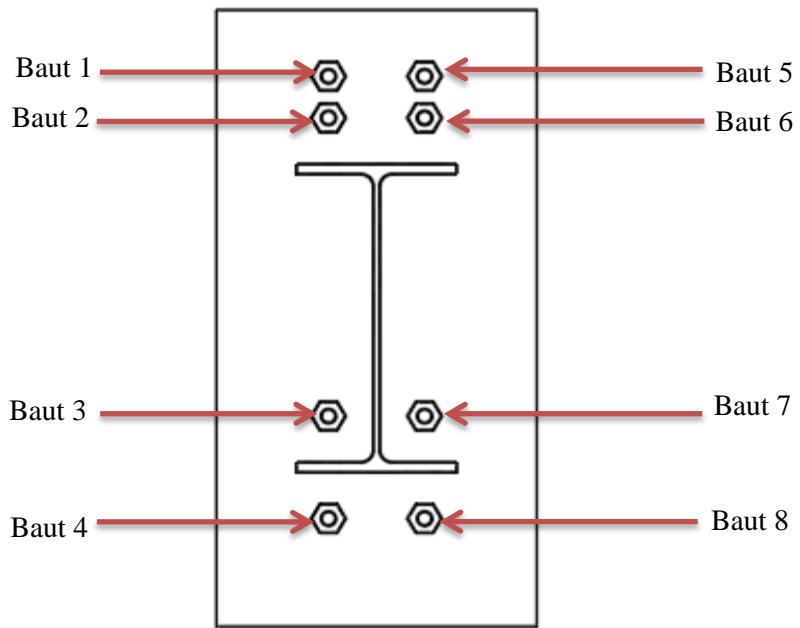


Gambar 3.14: Model 1 Baut disusun secara sejajar

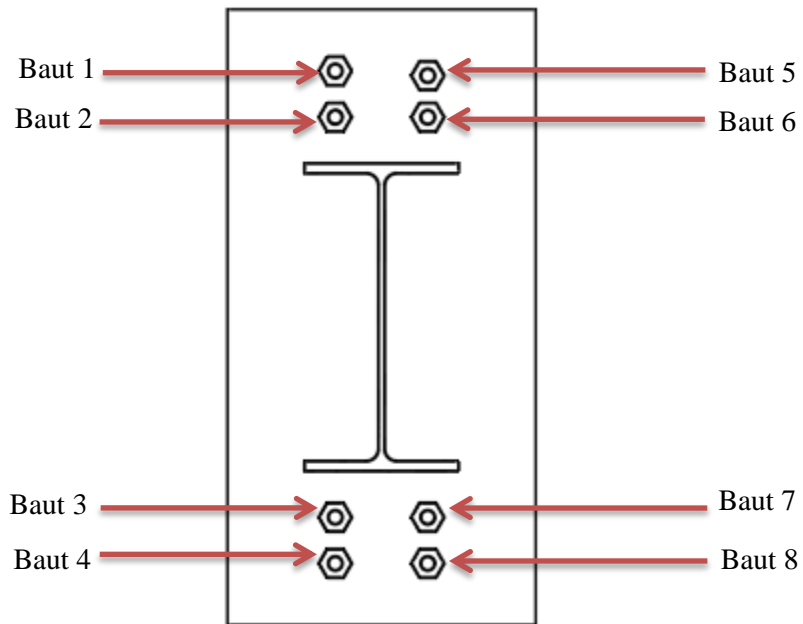


Gambar 3.15: Model 2 baut disusun secara zig-zag

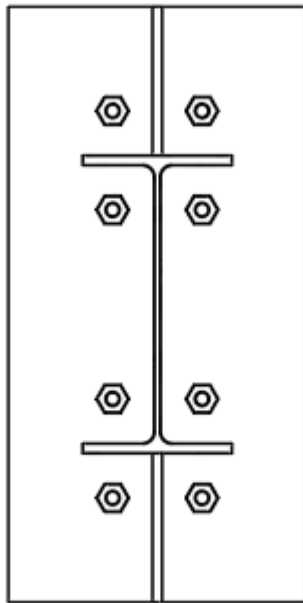




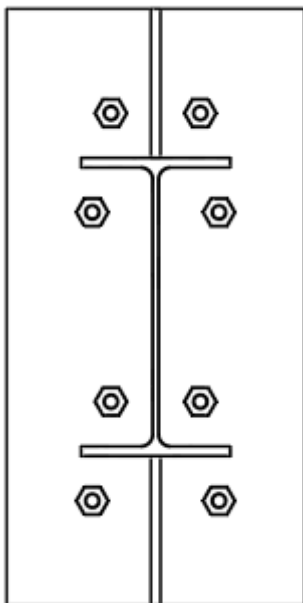
Gambar 3.16: Model 3 baut disusun sejajar diatas



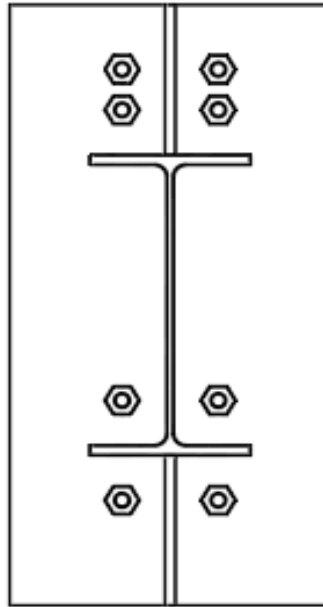
Gambar 3.17: Model 4 baut disusun sejajar diatas dan bawah



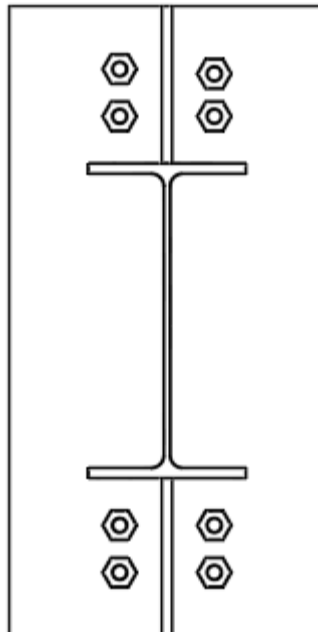
Gambar 3.18: Model 1 baut disusun baut disusun secara sejajar dengan *Stiffner*



Gambar 3.19: Model 2 baut disusun secara zig-zag dengan *Stiffner*



Gambar 3.20: Model 3 baut disusun sejajar diatas dengan *Stiffner*



Gambar 3.21: Model 4 baut disusun sejajar diatas dan dibawah dengan *Stiffner*

### 3.9 Input Pemodalan ke Software

#### 3.9.1 Definisi Material

Sebelum melakukan analisis pada sambunghn *end-plate* yang harus di input terlebih dahulu ialah spesifikasi material pada *Engineering Data*. Dibawah ini merupakan spesifikasi material yang digunakan pada *end-plate* yang akan di analisis, sebagai berikut:

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
2	Material			
3	BAUT ASTM A325		General_Materials.xml	
4	BJ 41		General_Materials.xml	
*	Click here to add a new material			

Gambar 3.22: *Engineering data*

Pada engineering data, dilakukan pendefinisian material-material yang akan digunakan pada permodelan bekisting dinding. Adapun spesifikasi material yang digunakan dalam model bekisting dinding yang akan di analisis yaitu:

#### A. Baja BJ 41

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulu...			
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 3.23: Spesifikasi baja BJ 41

## B. Baut ASTM A325

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulu...			
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	660	MPa		
12	Tangent Modulus	6700	MPa		
13	Tensile Yield Strength	660	MPa		
14	Tensile Ultimate Strength	830	MPa		

Gambar 3.24: Spesifikasi baja baut ASTM A325

### 3.9.2 Input Model Sambungan *End-Plate*

Model yang digunakan dalam analisis *end-plate* terdapat pada sub bab 3.6.4. Dibawah ini merupakan nama model yang akan digunakan dalam analisis diantaranya.

Tabel 3.6: Model sambungan *end-plate non stiffner* dan *stiffner*

No	Nama Model	
<b>1</b>	<b><i>NON STIFFNERS</i></b>	<b><i>STIFFNERS</i></b>
A	Model 1 Tp 16	Model 1 Tp 16
B	Model 2 Tp 16	Model 2 Tp 16
C	Model 3 Tp 16	Model 3 Tp 16
D	Model 4 Tp 16	Model 4 Tp 16
E	Model 1 Tp 20	Model 1 Tp 20
F	Model 2 Tp 20	Model 2 Tp 20
G	Model 3 Tp 20	Model 3 Tp 20
H	Model 4 Tp 20	Model 4 Tp 20

Ket :

Tp = Tebal Plat

### 3.9.3 Definisi *Contact*

*Contact* merupakan penghubung antara dua geometri yang memiliki fungsi tersendiri sesuai dengan perilaku material tersebut. Dalam analisis *end-plate* ini digunakan empat tipe *contact* yang berbeda, diantaranya ialah *bonded*, *frictional*, *rough*, dan *frictionless*. Adapun fungsinya sebagai berikut :

- A. *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*.
- B. *Frictional* berfungsi sebagai penghubung yang saling menempel tetapi tidak bersentuhan. Pada analisis model *end-plate*, *contact* ini digunakan untuk menghubungkan *end-plate* dengan kolom. *Contact* ini pun mengizinkan terjadi *sliding* maupun *gap*.
- C. *Frictionless* merupakan tipe *contact* yang koefisien friksinya nol atau *contact* tanpa gesekan. *Contact* ini mengizinkan terjadinya *sliding* dan *gap*.
- D. *Rough* mirip dengan *frictionless*, *contact* ini memiliki gesekan yang sangat kasar dimana kontak ini tidak mengizinkan terjadinya *sliding*.

Adapun kontak-kontak yang terdapat pada analisis bekisting ini dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3.7: *contact* untuk non *stiffners*

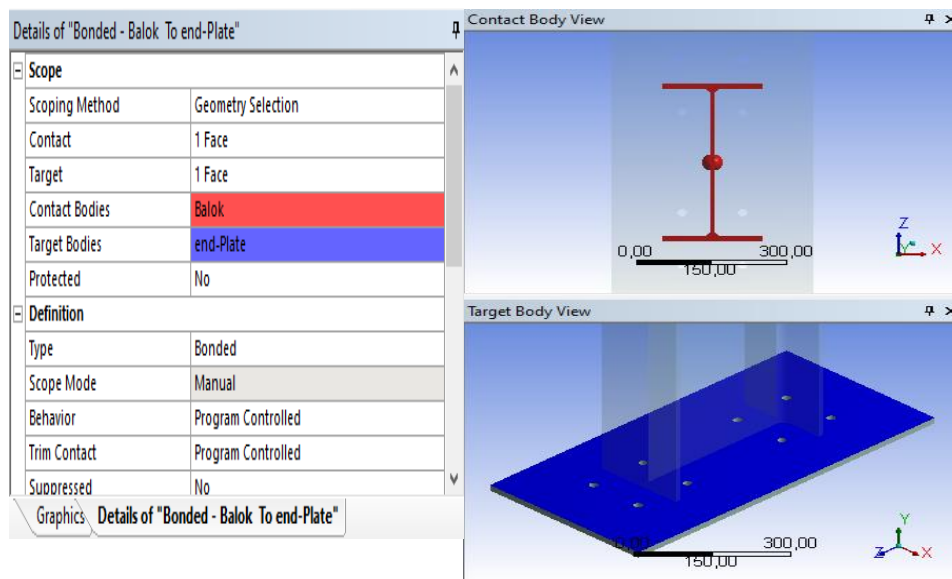
Contact	Target	Koef Friksi	Contact Type
Balok	<i>End-Plate</i>	-	<i>Bonded</i>
Nut	Kolom	-	<i>Bonded</i>
Nut	Baut	-	<i>Bonded</i>
Baut	<i>End-Plate</i>	-	<i>Bonded</i>
			<i>Frictionless</i>
Kolom	Baut	-	<i>Rough</i>
Kolom	<i>End-Plate</i>	0.2	<i>Frictional</i>

Tabel 3.8: *contact* untuk *stiffners*

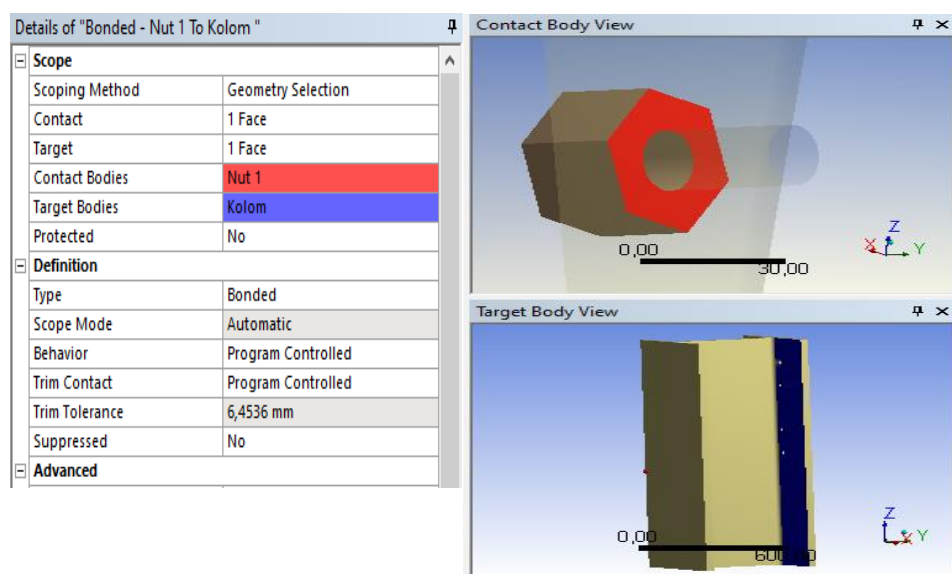
Contact	Target	Koef Friksi	Contact Type
Balok	<i>End-Plate</i>	-	<i>Bonded</i>

Lanjutan Tabel 3.8: *contact* untuk *stiffners*

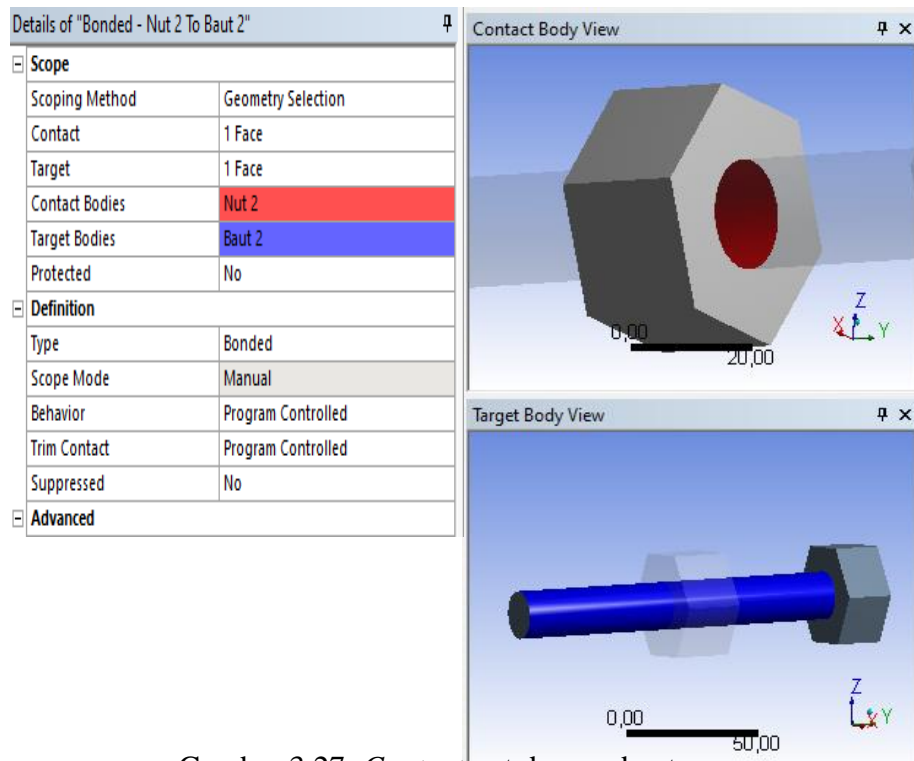
Contact	Target	Koef Friksi	Contact Type
Nut	Kolom	-	<i>Bonded</i>
Nut	Baut	-	<i>Bonded</i>
Baut	<i>End-Plate</i>	-	<i>Bonded</i>
			<i>Frictionless</i>
Kolom	Baut	-	<i>Rough</i>
Kolom	<i>End-Plate</i>	0.2	<i>Frictional</i>
<i>Stiffner</i>	<i>End-Plate</i>	-	<i>Bonded</i>
	Balok		



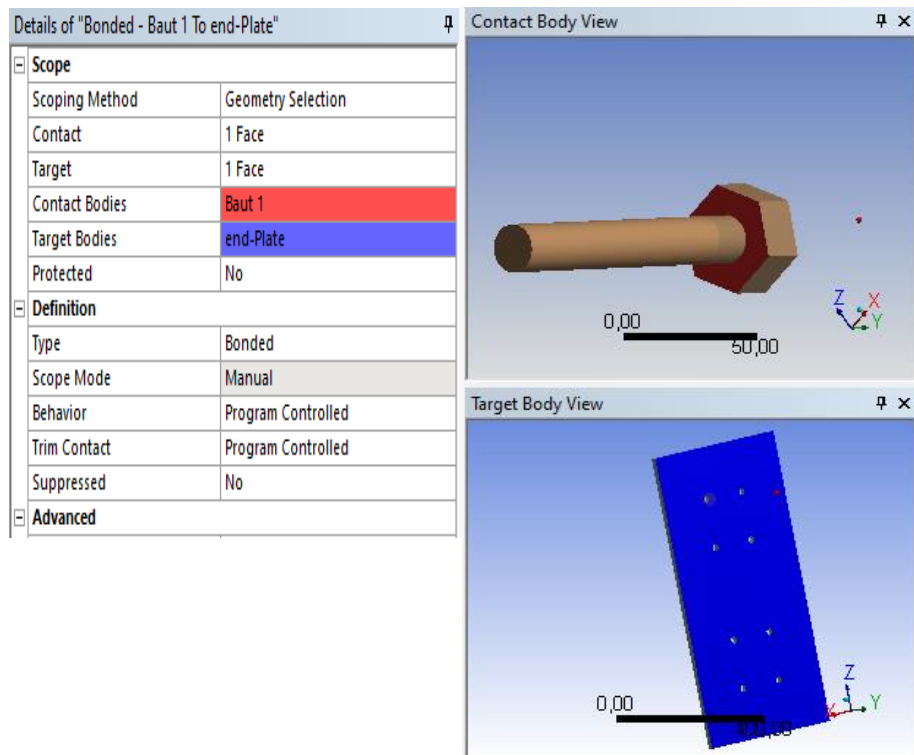
Gambar 3.25: *Contact* balok dengan *end-plate*



Gambar 3.26: *Contact* nut dengan kolom

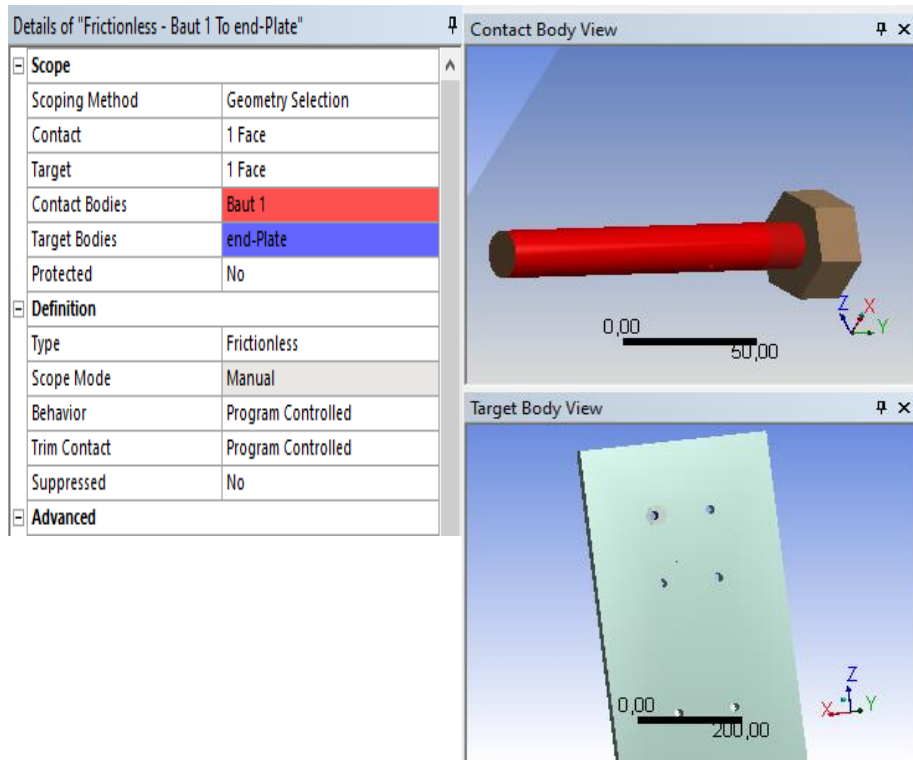


Gambar 3.27: *Contact* nut dengan baut

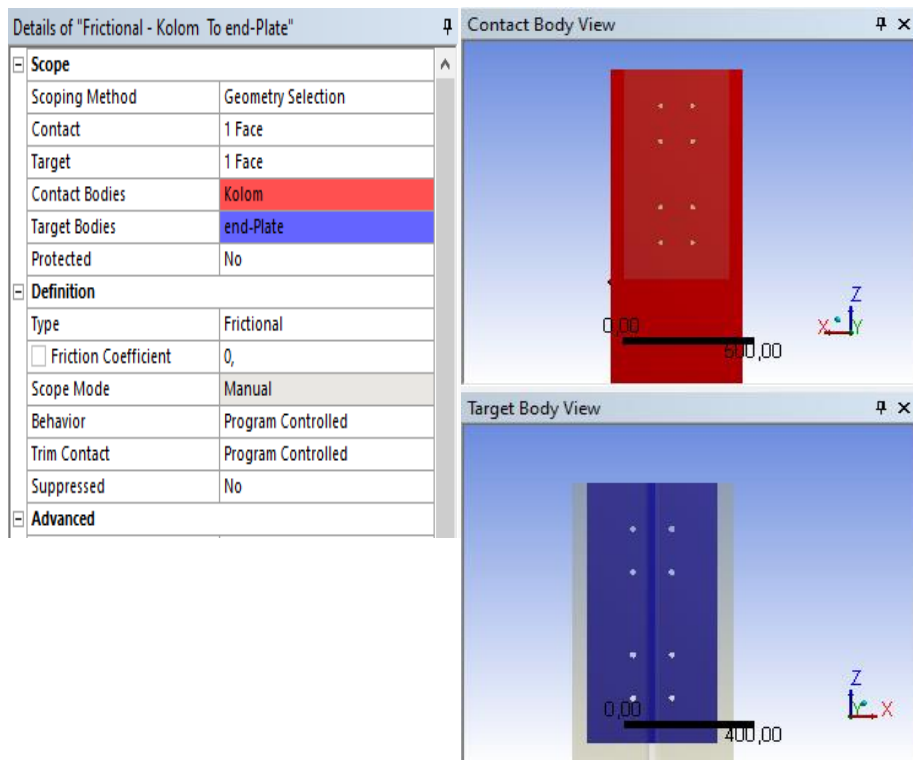


Gambar 3.28: *Contact* baut dengan *end-plate*

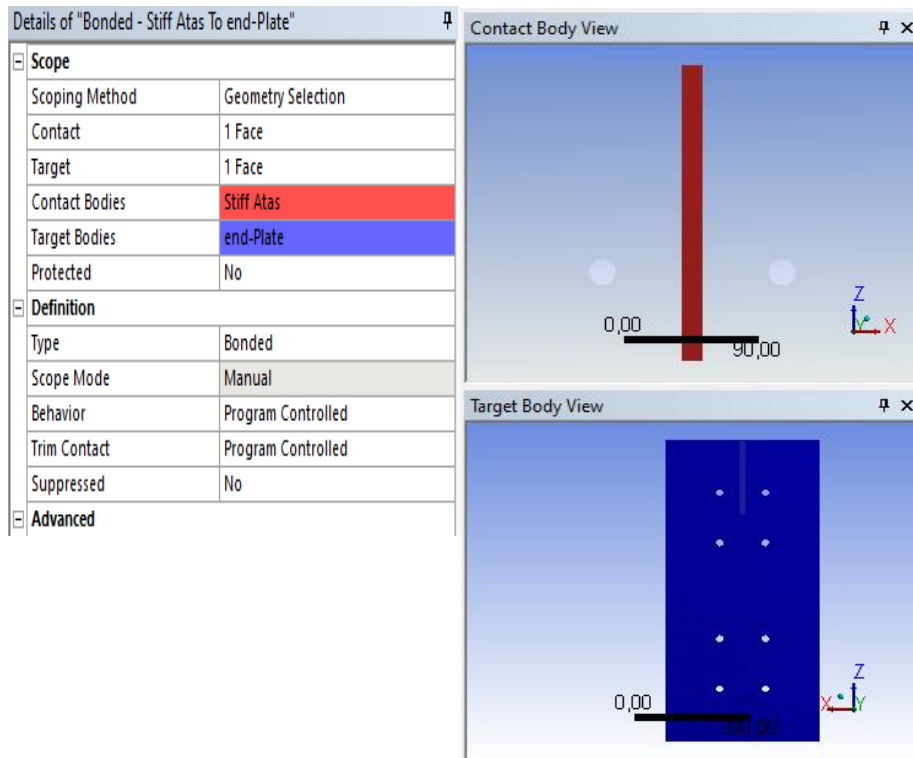




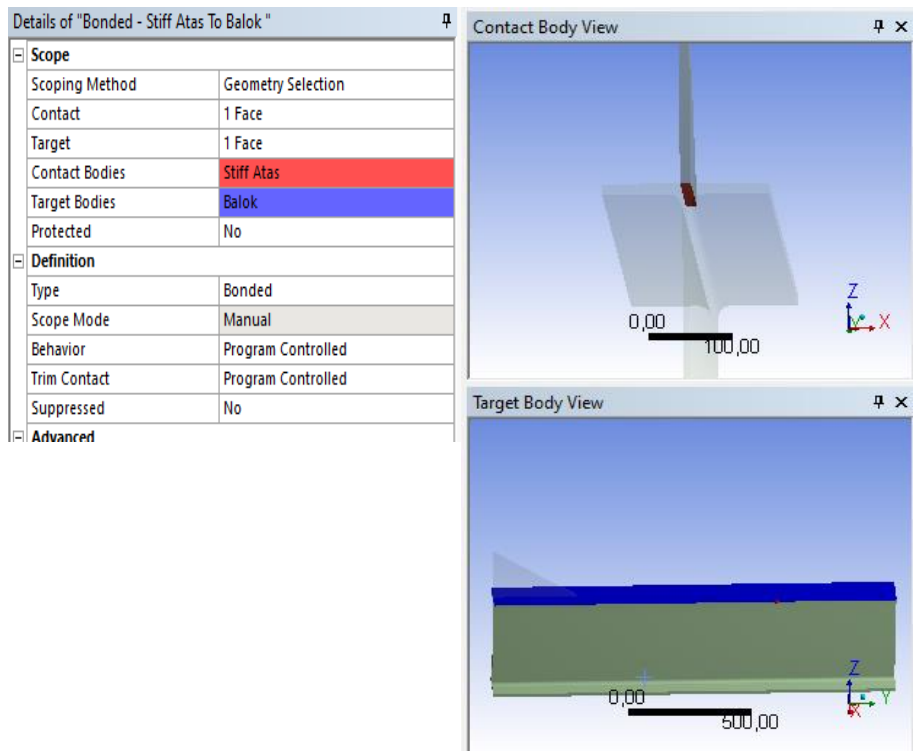
Gambar 3.29: Contact baut dengan end-plate



Gambar 3.30: Contact kolom dengan end-plate



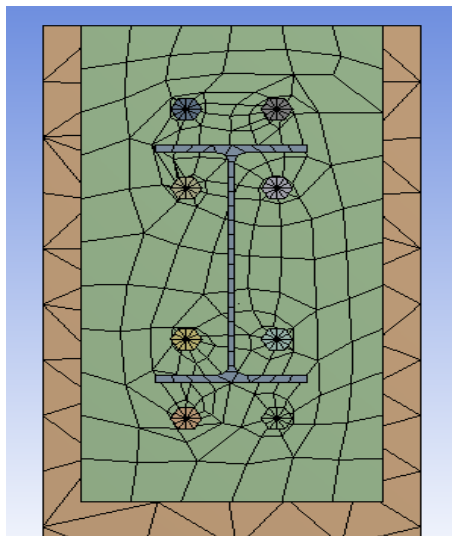
Gambar 3.31: *Contact stiffner* dengan *end-plate*



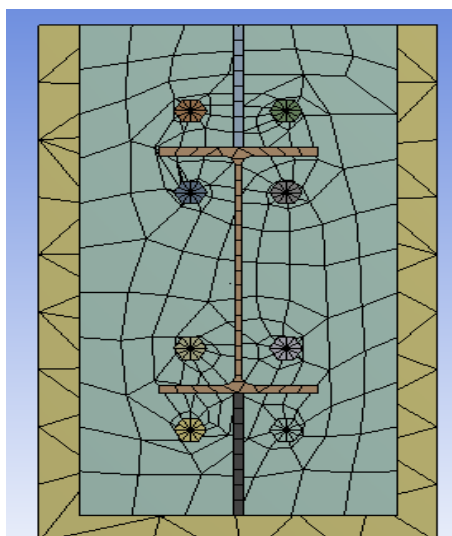
Gambar 3.32: *Contact stiffner* dengan balok

### 3.9.4 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 *end-plate* ini *meshing* yang dilakukan secara *default* tanpa mengatur ukuran maupun tipe dari *meshing* tersebut. Dibawah ini merupakan *meshing* pada tiap model:



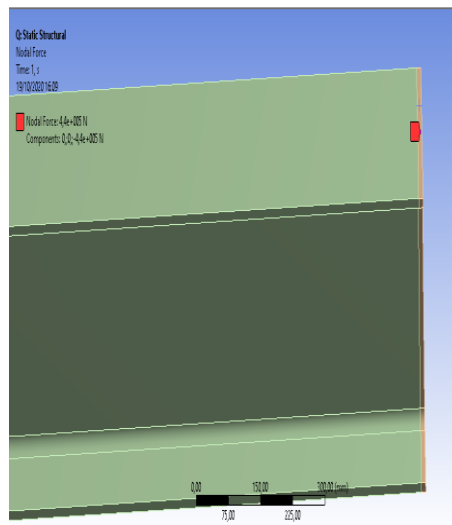
Gambar 3.33: *Meshing* pada sambungan *end-plate*



Gambar 3.34: *Meshing* pada sambungan *end-plate* dengan *stiffeners*

### 3.9.5 Pembebanan sambungan *end-plate*

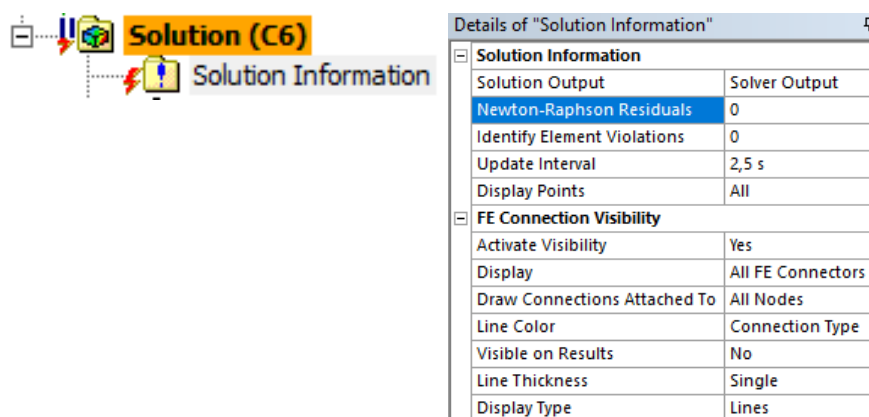
Beban yang di terima dalam melakukan analisis sambungan *end-plate* ialah beban monotonik yang berupa beban vertikal. Untuk nilai beban monotonik dipengaruhi oleh kekuatan analisis *end-plate* dan baut dalam menahan beban. terdapat pada tabel 3.34 dan untuk penerapan beban vertikal dan beban monotonik dapat dilihat pada gambar 3.34 di bawah ini:



Gambar 3.35: Penerapan beban monotonik

### 3.9.6 *Newton Raphson*

Sebelum melakukan running analisis perlu mengatur dahulu nilai pada *newton rahpson* sebesar  $10^{-7}$ . *Newton Rahpson* berguna untuk mengatasi error saat melakukan running analisis pada software.



Gambar 3.36: Penerapan nilai *newton rahpson*

## BAB 4

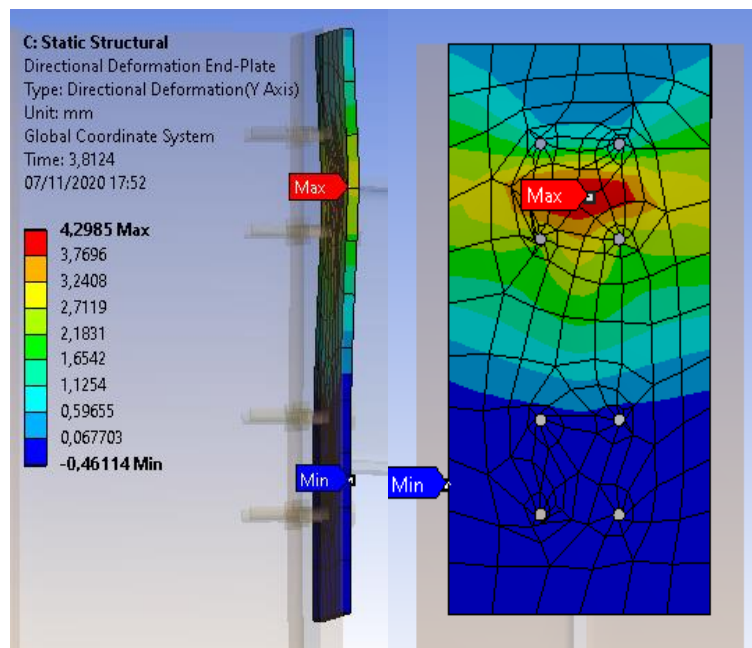
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Momen–Rotasi Berdasarkan Model

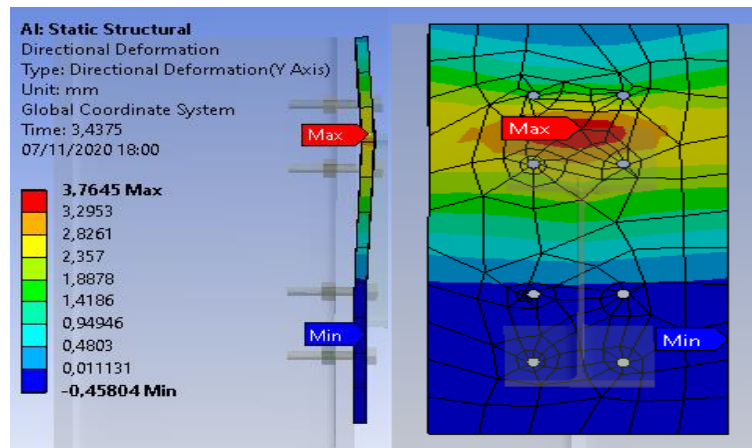
Momen adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi terhadap porosnya. Berikut ini merupakan momen-rotasi yang terjadi pada tiap model sambungan *end-plate* berdasarkan model tata letak baut dan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

##### 4.1.1 Momen-Rotasi Pada Model 1 Baut disusun Secara Sejajar

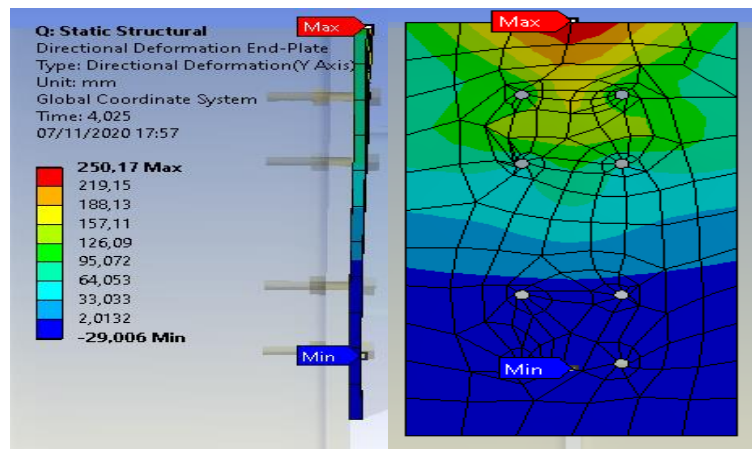
Dibawah ini merupakan hasil analisis momen-rotasi yang terjadi pada tiap model baut disusun secara sejajar yang di dapat dari analisis *software*. Dapat dilihat pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4 sebagai berikut :



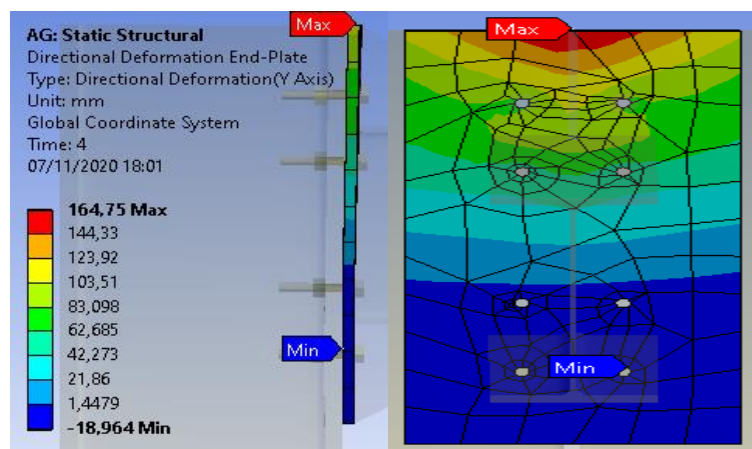
Gambar 4.1: Rotasi pada *end-plate* Tp 16.



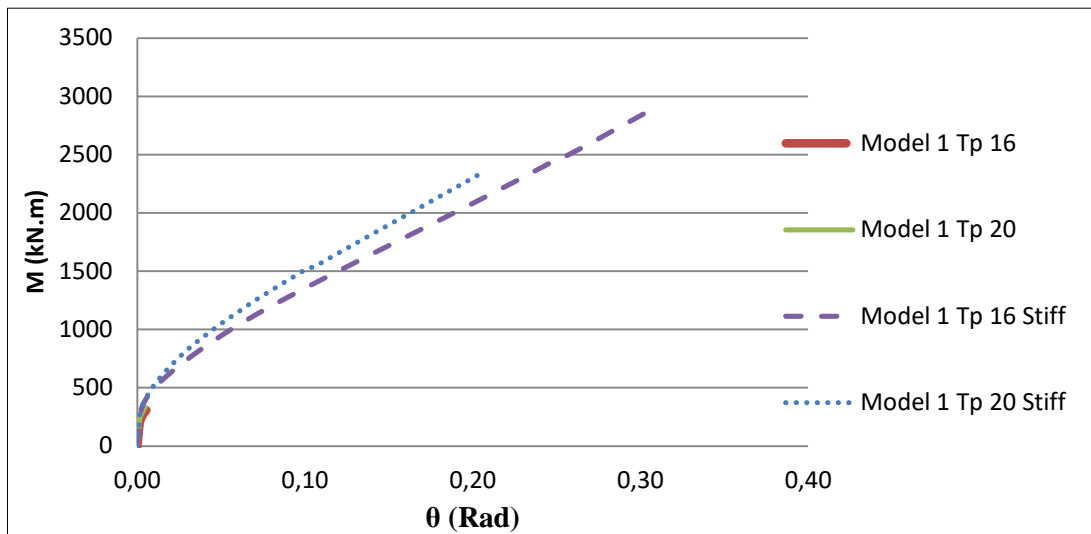
Gambar 4.2: Rotasi pada *end-plate* Tp 20.



Gambar 4.3: Rotasi pada *end-plate* Tp 16 dengan *stiffeners*.

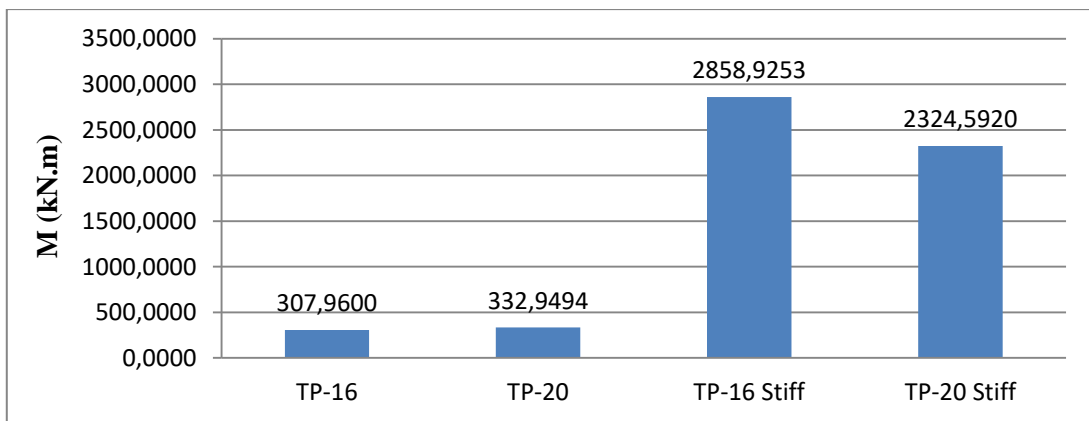


Gambar 4.4: Rotasi pada *end-plate* Tp 20 dengan *stiffeners*.



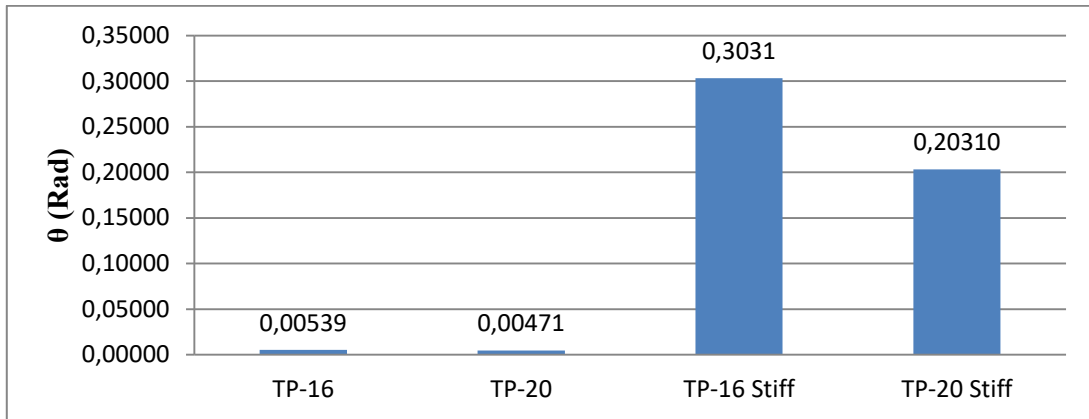
Gambar 4.5: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* model 1.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa ketahanan momen dan rotasi terbesar terjadi pada model 1 Tp 16 dengan *stiffners*. Untuk lebih terperinci dapat dilihat gambar diagram batang dibawah ini:



Gambar 4.6: Momen pada sambungan *end-plate* model 1.

Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan momen terbesar terjadi pada model Tp 16 dengan *stiffner* dimana ketahanan momen mencapai 2858,9253 kN.m sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 16 dengan ketahanan momem sebesar 307,96 kN.m.

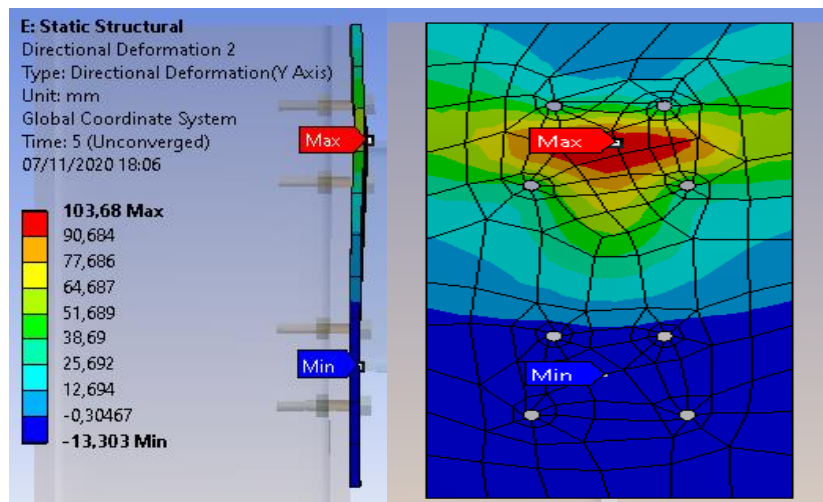


Gambar 4.7: Rotasi pada sambungan *end-plate* model 1.

Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan rotasi terbesar terjadi pada model Tp 16 dengan *stiffner* dimana ketahanan rotasi mencapai 0,3031 rad sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 20 dengan ketahanan momem sebesar 0,00471 rad.

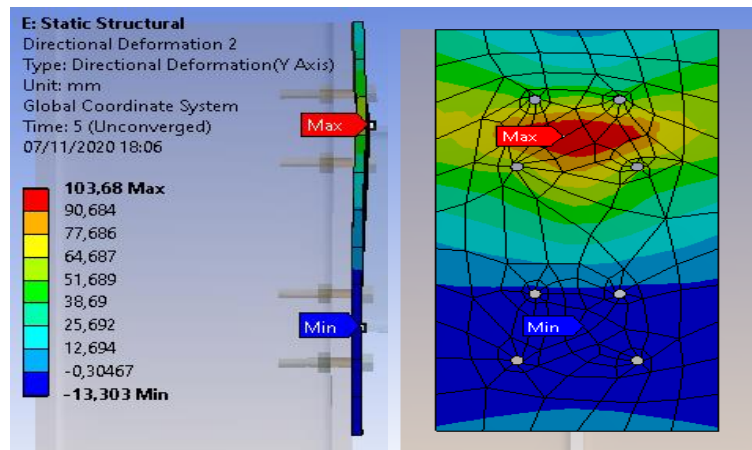
#### 4.1.2 Momen-Rotasi Pada Model 2 Baut disusun Secara Zig-Zag

Dibawah ini merupakan momen-rotasi yang terjadi pada tiap model baut disusun secara zig-zag yang di dapat dari analisis *software*. Dapat dilihat pada gambar 4.8 sampai dengan gambar 4.11 sebagai berikut :

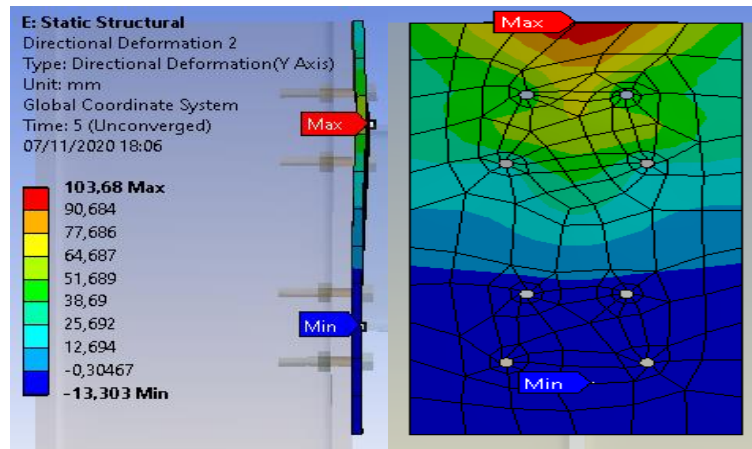


Gambar 4.8: Rotasi pada *end-plate* Tp 16 model 2.

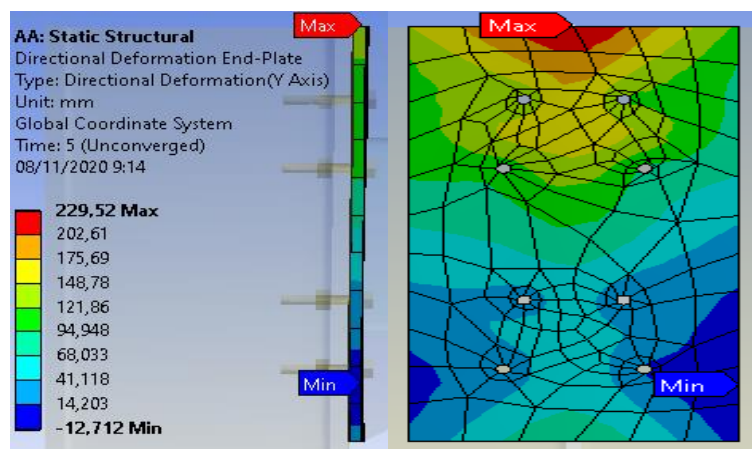




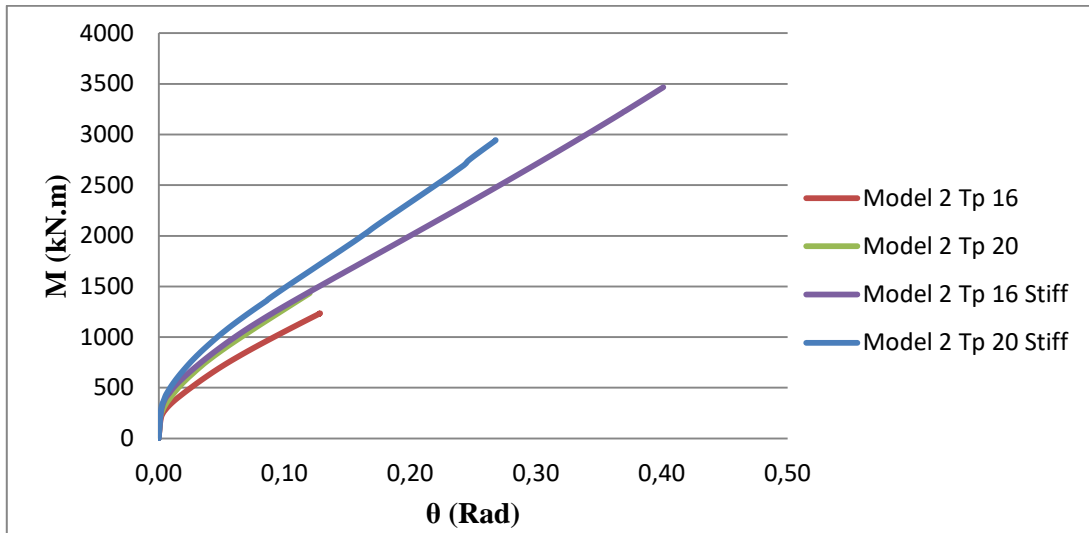
Gambar 4.9: Rotasi pada *end-plate* Tp 20 model 2.



Gambar 4.10: Rotasi pada *end-plate* Tp 16 dengan *stiffners* model 2.

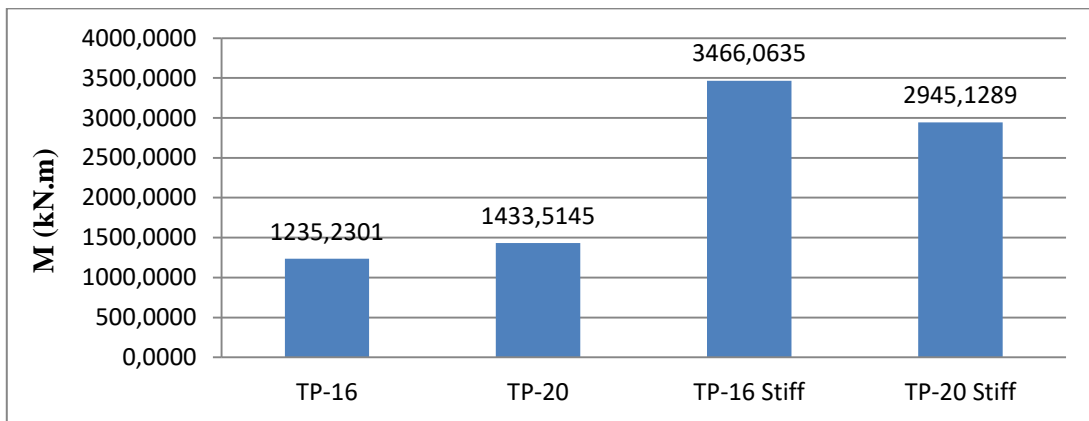


Gambar 4.11: Rotasi pada *end-plate* Tp 20 dengan *stiffners* model 2.



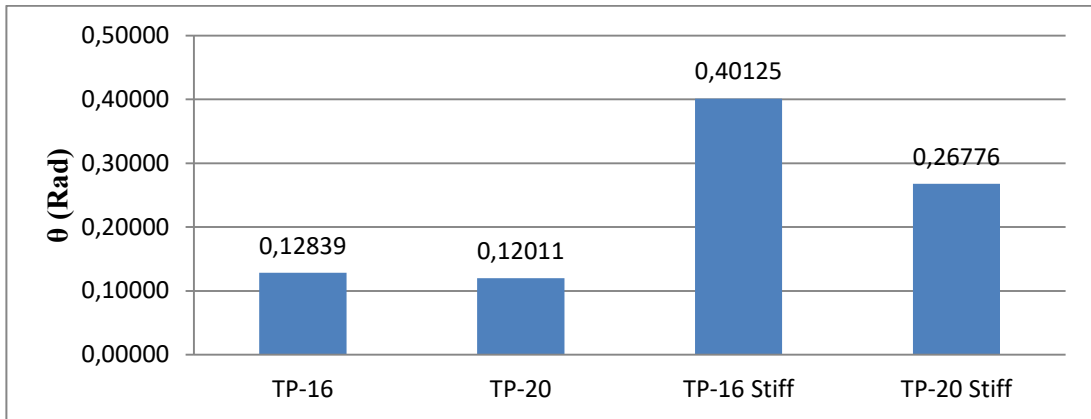
Gambar 4.12: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* model 2.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa ketahanan momen dan rotasi terbesar terjadi pada model 2 Tp 16 dengan *stiffners*. Untuk lebih terperinci dapat dilihat gambar diagram batang dibawah ini:



Gambar 4.13: Momen pada sambungan *end-plate* model 2.

Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan momen terbesar terjadi pada model Tp 16 dengan *stiffner* dimana ketahanan momen mencapai 3466,0635 kN.m sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 16 dengan ketahanan momen sebesar 1235,2301 kN.m.

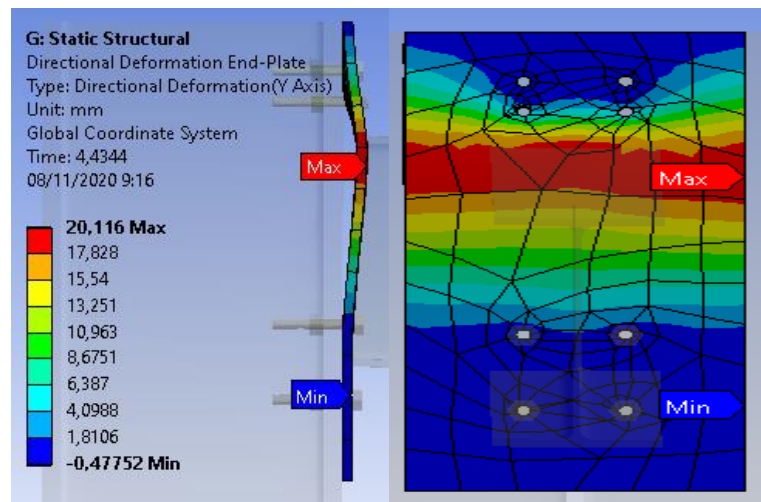


Gambar 4.14: Rotasi pada sambungan *end-plate* model 2.

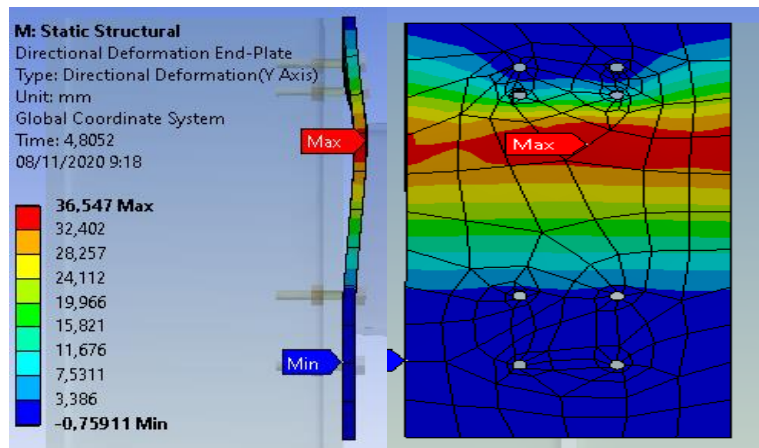
Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan rotasi terbesar terjadi pada model Tp 16 dengan *stiffner* dimana ketahanan rotasi mencapai 0,40125 rad sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 20 dengan ketahanan momem sebesar 0,12011 rad.

#### 4.1.3 Momen-Rotasi Pada Model 3 Baut disusun Secara Sejajar Diatas

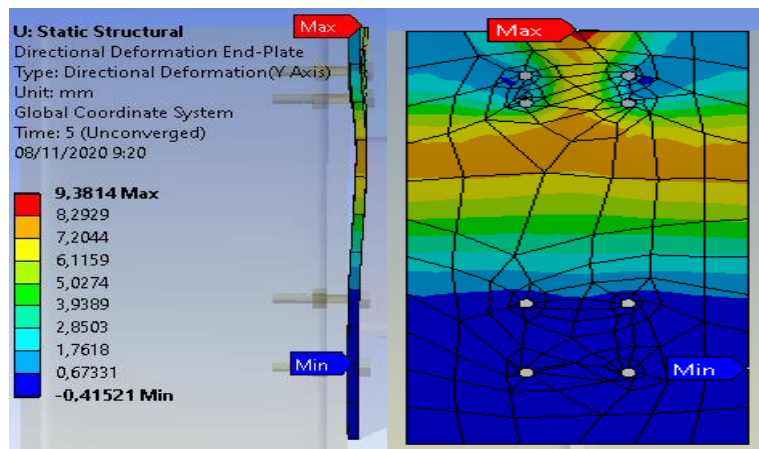
Dibawah ini merupakan hasil analisis momen-rotasi yang terjadi pada tiap model baut disusun secara sejajar diatas yang di dapat dari analisis *software*. Dapat dilihat pada gambar 4.15 sampai dengan gambar 4.18 sebagai berikut :



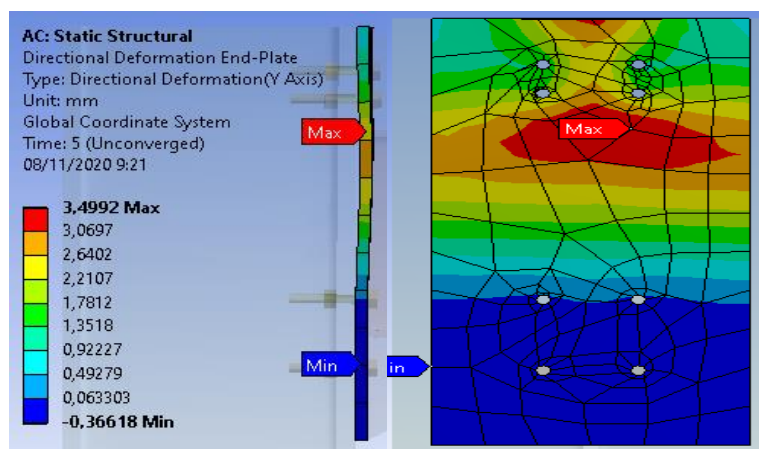
Gambar 4.15: Rotasi pada *end-plate* Tp 16 model 3.



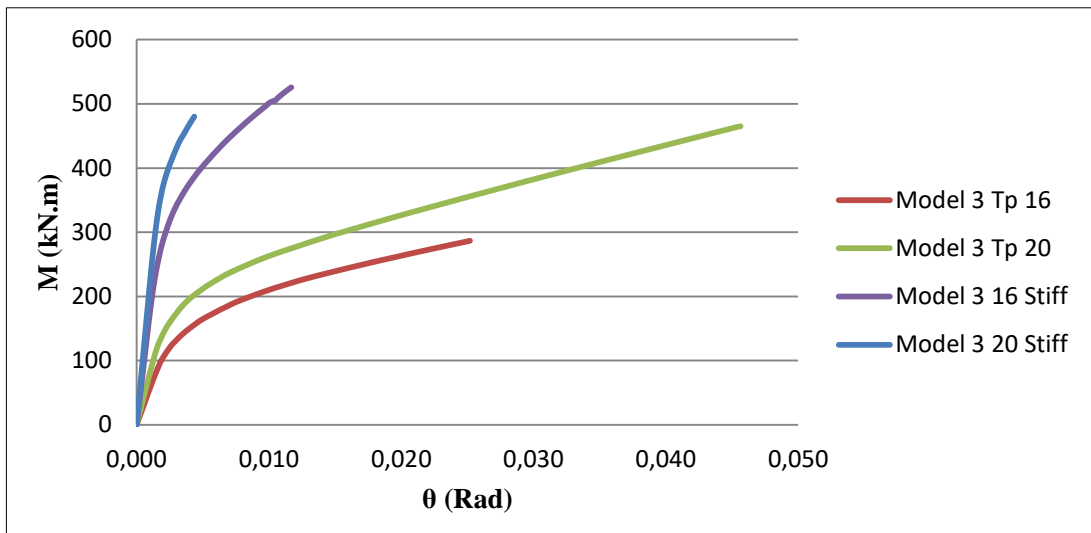
Gambar 4.16: Rotasi pada *end-plate* Tp 20 model 3.



Gambar 4.17: Rotasi pada *end-plate* Tp 16 dengan *stiffners* model 3.

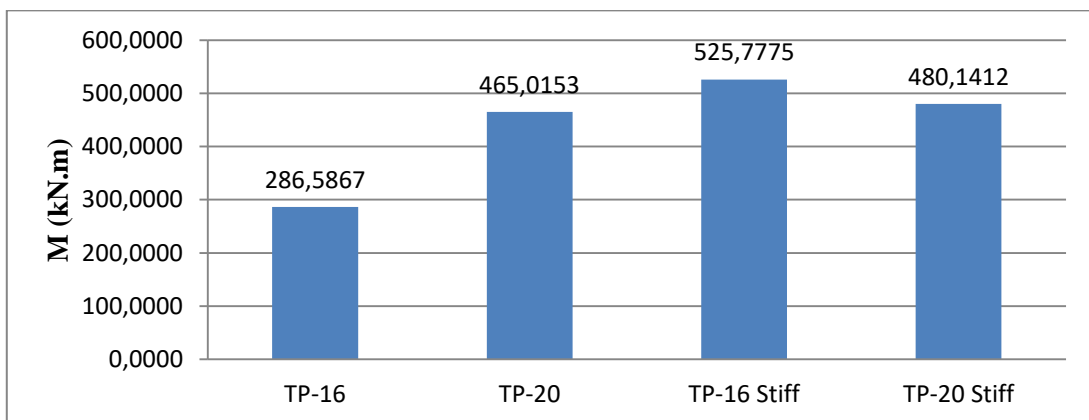


Gambar 4.18: Rotasi pada *end-plate* Tp 20 dengan *stiffners* model 3.



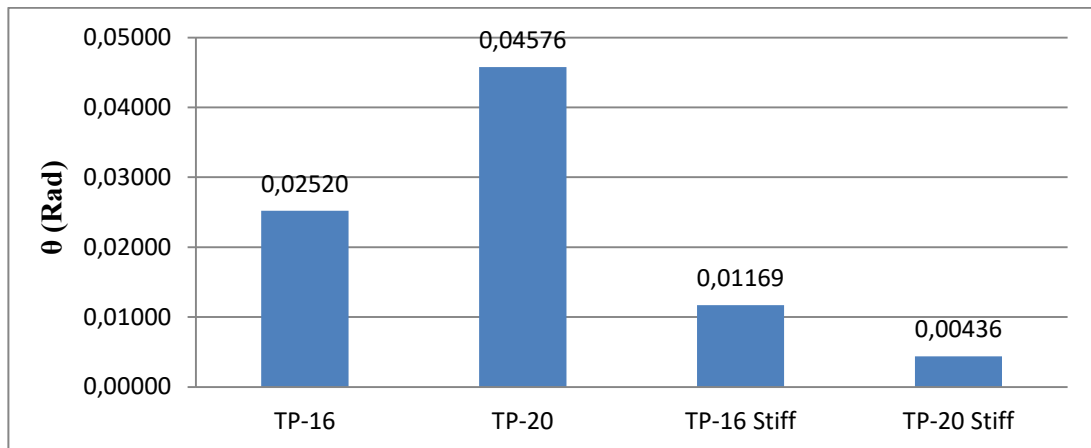
Gambar 4.19: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* model 3.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa ketahanan momen terbesar terjadi pada model 3 Tp 16 *stiffners* dan rotasi terbesar terjadi pada model 3 Tp 20. Untuk lebih terperinci dapat dilihat gambar diagram batang dibawah ini:



Gambar 4.20: Momen pada sambungan *end-plate* model 3

Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan momen terbesar terjadi pada model Tp 16 dengan *stiffner* dimana ketahanan momen mencapai 525,7775 kN.m sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 16 dengan ketahanan momem sebesar 286,5867 kN.m.

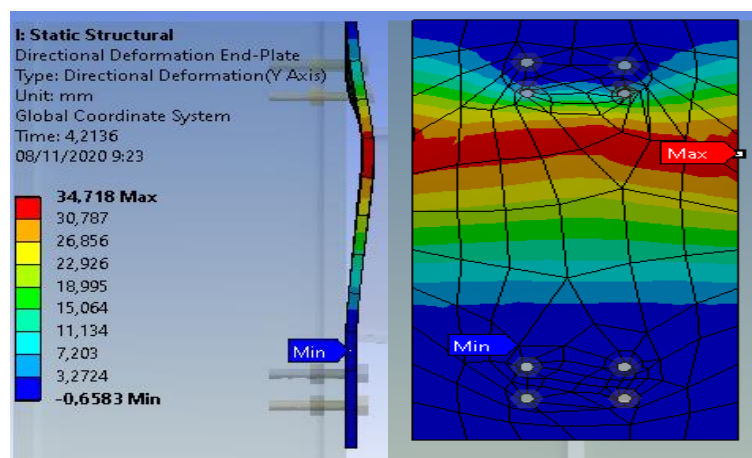


Gambar 4.21: Rotasi pada sambungan *end-plate* model 3

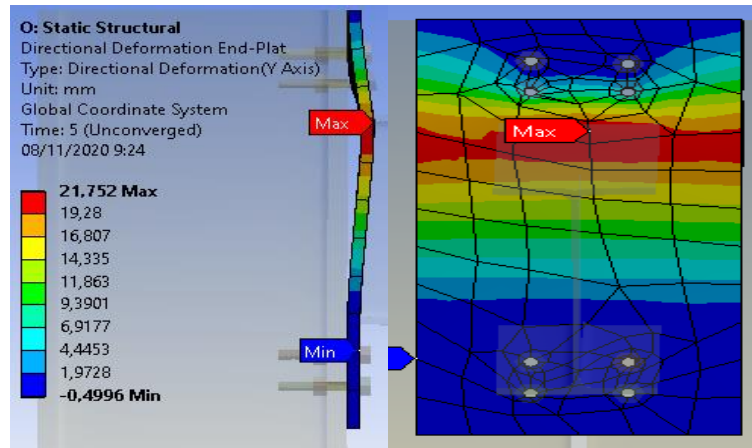
Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan rotasi terbesar terjadi pada model Tp 20 dimana ketahanan rotasi mencapai 0,04576 rad sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 20 dengan *stiffner* ketahanan momem sebesar 0,00436 rad.

#### 4.1.4 Momen-Rotasi Model 4 Baut disusun Secara Sejajar Diatas Dan Bawah

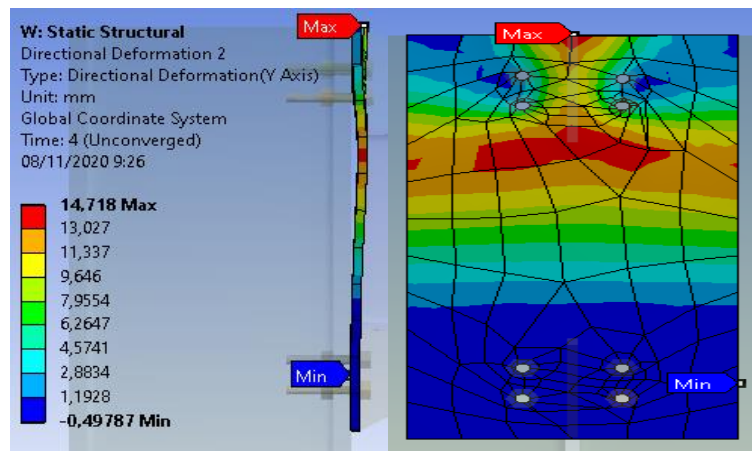
Dibawah ini merupakan hasil analisis momen-rotasi yang terjadi pada tiap model baut disusun secara sejajar diatas dan bawah yang di dapat dari analisis *software*. Dapat dilihat pada gambar 4.22, 4.23, 4.24, dan 4.25 sebagai berikut :



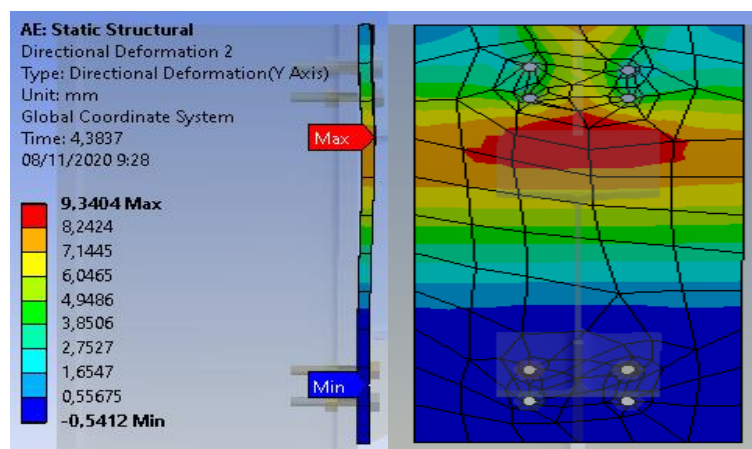
Gambar 4.22: Rotasi pada *end-plate* Tp 16 model 4



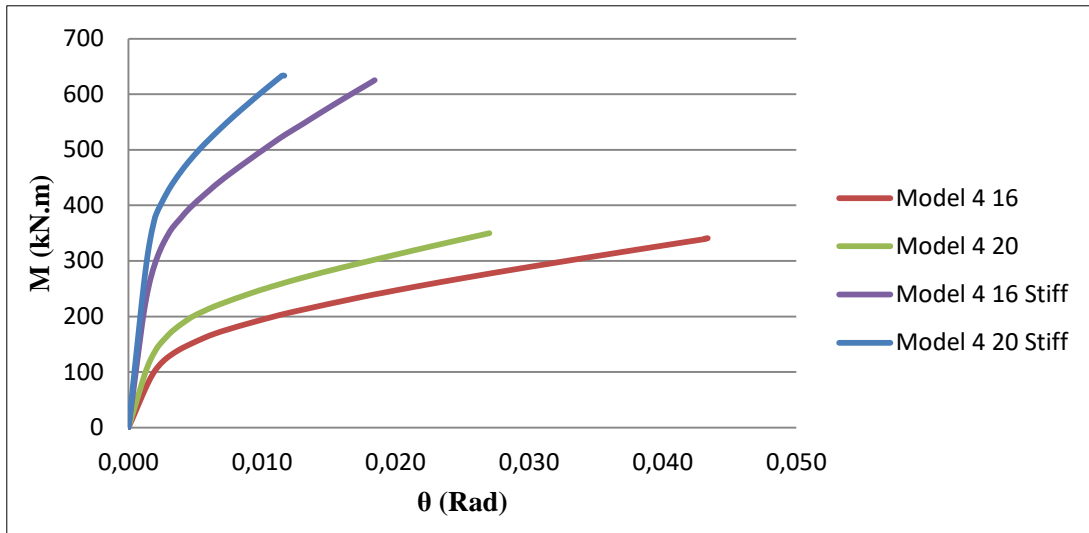
Gambar 4.23: Rotasi pada *end-plate* Tp 20 model 4



Gambar 4.24: Rotasi pada *end-plate* Tp 16 dengan *stiffners* model 4

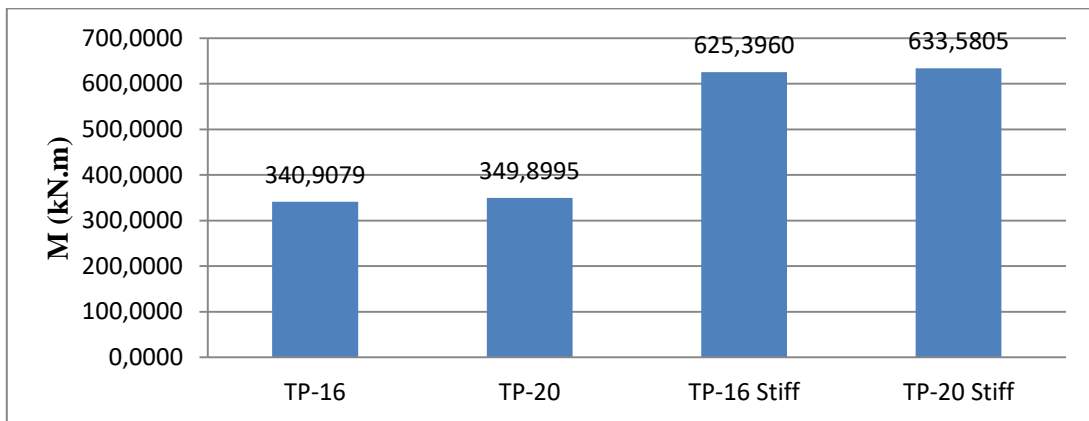


Gambar 4.25: Rotasi pada *end-plate* Tp 20 dengan *stiffners* model 4



Gambar 4.26: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* model 4

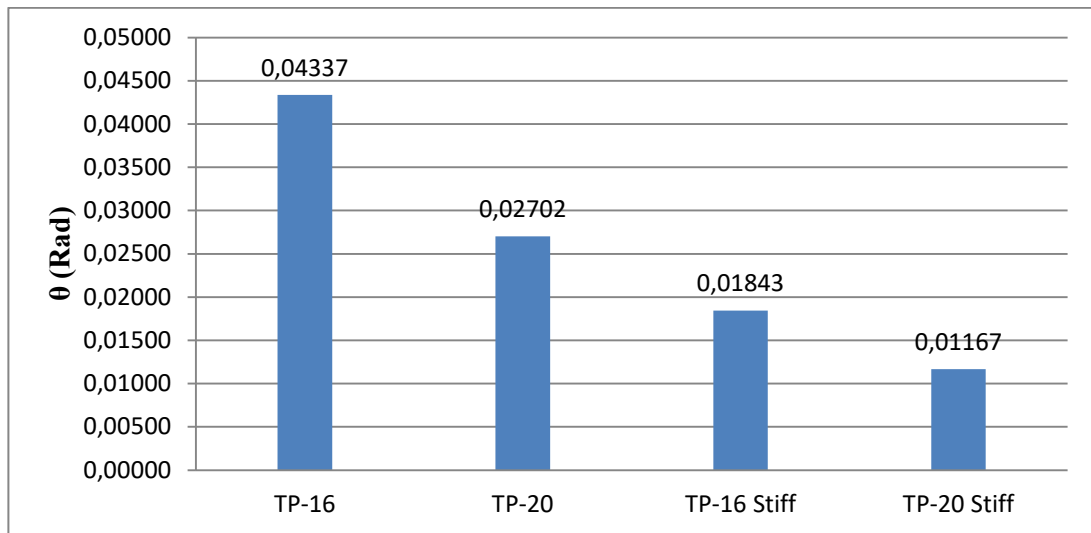
Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa ketahanan momen terbesar terjadi pada model 4 Tp 20 *stiffners* sedangkan rotasi terjadi pada model 4 Tp 16 . Untuk lebih terperinci dapat dilihat gambar diagram batang dibawah ini:



Gambar 4.27: Momen pada sambungan *end-plate* model 4

Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan momen terbesar terjadi pada model Tp 20 dengan *stiffner* dimana ketahanan momen mencapai 625,960 kN.m sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 16 dengan ketahanan momen sebesar 340,9079 kN.m.





Gambar 4.28: Rotasi pada sambungan *end-plate* model 4.

Dari gambar diagram batang diatas dapat diketahui bahwa ketahanan rotasi terbesar terjadi pada model Tp 16 dimana ketahanan rotasi mencapai 0,04337 rad sedangkan untuk terkecil sebaliknya yaitu Tp 20 dengan *stiffner* ketahanan momem sebesar 0,01167 rad.

#### 4.2 Klasifikasi Sambungan *End-Plate*

Berdasarkan AISC 360-10 klasifikasi kekakuan (*connection stiffness*) terbagi menjadi tiga, yaitu kaku (*rigid*), semi-kaku (*semi rigid*), dan sendi (*pinned*). Untuk melakukan klasifikasi pada sambungan *end-plate*, dilakukan dengan sampel model 1 Tp 16 tanpa *stiffner* sebagai berikut :

Momen sambungan (M)	= 108,9653 kN.m
Rotasi sambungan (θ)	= 0,0007 rad
Kekakuan (K)	= $\frac{M}{\theta} = \frac{108,9653}{0,0007} = 155.748,1047$ kN.m/rad
Tinggi balok (L)	= 1,6143 m
Modulus elastisitas balok, (E)	= 200.000.000 kN/m <sup>2</sup>
Momen inersia balok, (I)	= 0,000238234 m <sup>4</sup>

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan untuk } \textit{pinned} (K_{\textit{pinned}}) &= \frac{2.E.I}{L} = \frac{2 \cdot 200000000 \cdot 0,000238234}{1,6143} \\ &= 59.030,91123 \text{ kN.m/rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan untuk } \textit{rigid} (K_{\textit{rigid}}) &= \frac{20.E.I}{L} = \frac{20 \cdot 200000000 \cdot 0,000238234}{1,6143} \\ &= 590.309,11231 \text{ kN.m/rad} \end{aligned}$$

Karena  $K_{\textit{pinned}} = 59.030,91123 \text{ kN.m/rad} < K = 155.748,1047 \text{ kN.m/rad} < K_{\textit{rigid}} = 590.309,11231 \text{ kN.m/rad}$ , maka klasifikasi berdasarkan AISC 360-10 pada model sambungan *end-plate* model 1 Tp 16 tanpa *stiffners* adalah **Semi kaku (semi-rigid)**.

Tabel 4.1 Klasifikasi sambungan *end-plate* model 1 baut disusun sejajar

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		Klasifikasi
	kN.m	Rad		<i>Pinned</i>	<i>Rigid</i>	
TP-16	127,1261	0,00082	155808,562	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
TP-20	213,0876	0,00116	183240,164	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
TP-16 Stiff	173,3596	0,00107	161969,255	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
TP-20 Stiff	225,1948	0,00122	184076,806	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>

Pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kekakuan suatu sambungan ditentukan ketebalan pelat, dimensi sehingga menyebabkan momen yang besar dan rotasi yang kecil. sebaliknya, Jika dipersentasikan nilai kekakuannya Tp-16 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 84,64 %, sedangkan untuk kekakuan Tp-20 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 99,55 % dan untuk Tp-16 *stiffners* terhadap Tp-16 *stiffners* 87,99 %.

Tabel 4.2 Klasifikasi sambungan *end-plate* model 2 baut disusun zig-zag

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		Klasifikasi
	kN.m	Rad		<i>Pinned</i>	<i>Rigid</i>	
TP-16	118,812	0,00090	132012,069	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
TP-20	129,144	0,00076	169945,915	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
TP-16 Stiff	146,562	0,00095	154548,642	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
TP-20 Stiff	197,154	0,00111	178378,338	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>

Pada tabel diatas jika dipersentasekan nilai kekakuannya Tp-16 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 74,01 %, sedangkan untuk kekakuan Tp-20 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 95,27 % dan untuk Tp-16 *stiffners* terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 86,64 %.

Tabel 4.3 Klasifikasi sambungan *end-plate* model 3 baut disusun sejajar diatas

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		K Batas
	kN.m	Rad		Pinned	Rigid	
TP-16	54,8862	0,00097	56560,405	59030,9112	590309,112	Pinned
TP-20	63,5873	0,00079	80463,505	59030,9112	590309,112	Semi-Rigid
TP-16 Stiff	145,4888	0,00084	174219,853	59030,9112	590309,112	Semi-Rigid
TP-20 Stiff	216,1225	0,00098	219647,903	59030,9112	590309,112	Semi-Rigid

Pada tabel diatas jika dipersentasekan nilai kekakuannya Tp-16 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 25,75 %, sedangkan untuk kekakuan Tp-20 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 36,63 % dan untuk Tp-16 *stiffners* terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 79,32 %.

Tabel 4.4 Klasifikasi sambungan *end-plate* model 4 baut disusun sejajar diatas-bawah

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	Sendi	kaku	Klasifikasi
	kN.m	Rad				
TP-16	54,0791	0,00097	55599,005	59030,911	590309,112	Pinned
TP-20	75,7204	0,00096	79058,630	59030,911	590309,112	Semi-Rigid
TP-16 Stiff	169,5015	0,00093	182829,844	59030,911	590309,112	Semi-Rigid
TP-20 Stiff	217,9305	0,00097	225808,460	59030,911	590309,112	Semi-Rigid

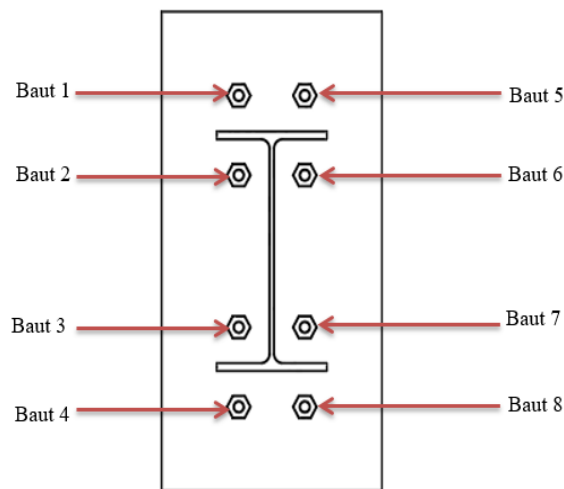
Pada tabel diatas jika dipersentasekan nilai kekakuannya Tp-16 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 24,62 %, sedangkan untuk kekakuan Tp-20 terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 35,01 % dan untuk Tp-16 *stiffners* terhadap Tp-20 *stiffners* sebesar 80,97 %.

### 4.3 Tegangan-Regangan

Pada umumnya kurva *engineering stress-strain* dipakai untuk perencanaan rekayasa. Kurva didapat melalui konversi data pengujian ( $P-\Delta$ ) dengan data geometri ( $A$  dan  $L$ ) kondisi awal. Tegangan yang di analisis disesuaikan dengan batasan dari mutu baja. Untuk Batas nilai tegangan rata-rata ini diambil berdasarkan dari kemampuan *end-plate* dalam menahan momen-rotasi. Sehingga beban yang mampu bekerja berbeda-beda.

#### 4.3.1. Tegangan Regangan Model 1 Baut Disusun Sejajar

Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang dianalisis dalam *software*. Untuk lebih dijelas dapat dilihat pada gambar 4.3.1.1 sampai dengan gambar 4.3.1.8.

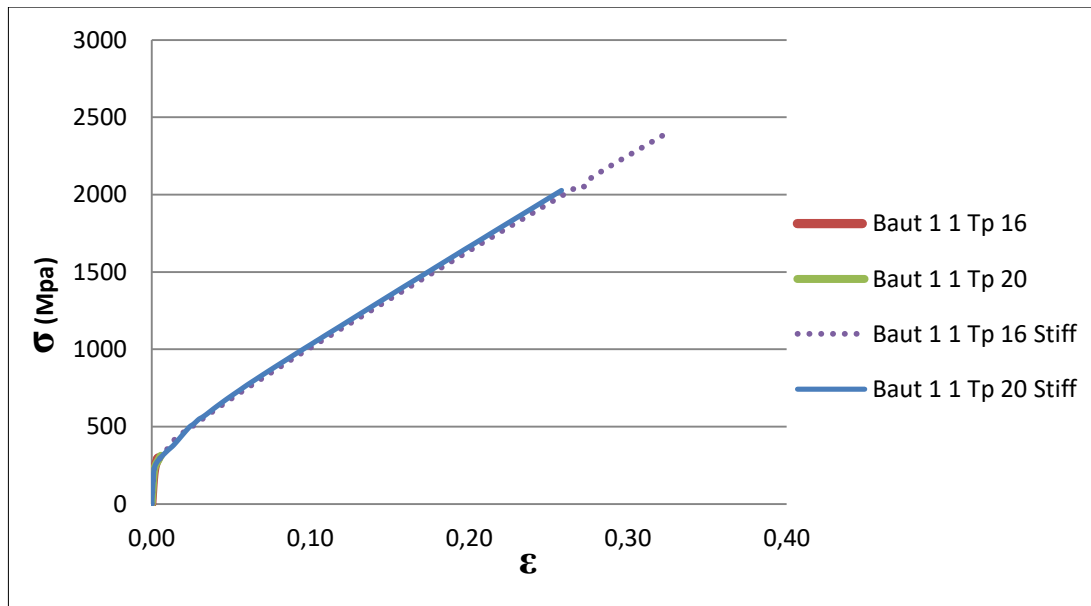


Gambar 4.29: Model 1 Baut disusun secara sejajar

##### 4.3.1.1 Tegangan-Regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 135,33 MPa dan mengalami plastis dari 143,16 MPa hingga 298,24 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000856 pada saat plastis dan 0,00091 hingga 0,004068 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 198,84 MPa dan mengalami plastis dari 229,82 MPa hingga 311,95 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001118 pada saat plastis dan 0,001280 hingga 0,005788 pada saat plastis.
- C. Pada model Tp 16 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 200,8 MPa dan mengalami plastis dari 229,2 MPa hingga 2390,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00124 pada saat plastis dan 0,001620 hingga 0,3232 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 197,6 MPa dan mengalami plastis dari 218,6 MPa hingga 2027,4 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001175 pada saat plastis dan 0,001357 hingga 0,25813 pada saat plastis.

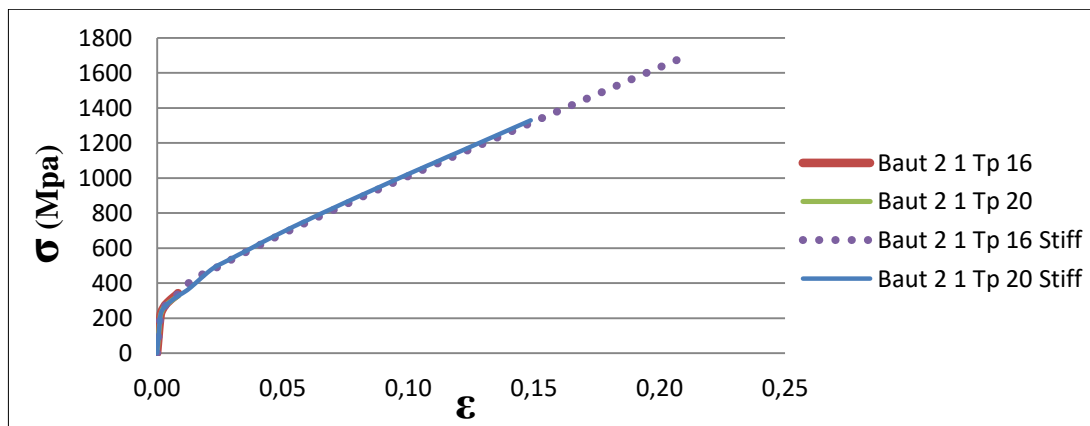


Gambar 4.30: Tegangan-Regangan baut 1 pada model 1 baut disusun sejajar

#### 4.3.1.2 Tegangan-Regangan Pada Baut 2

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 199,48 MPa dan mengalami plastis dari 209,47 MPa hingga 342,44 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001248 pada saat elastis dan 0,001339 hingga 0,008345 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 212,82 MPa dan mengalami plastis dari 220,5 MPa hingga 329,01 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001313 pada saat elastis dan 0,001433 hingga 0,008674 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 162,78 MPa dan mengalami plastis dari 202,5 MPa hingga 1690,2 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000978 pada saat elastis dan 0,001273 hingga 0,20962 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 219,66 MPa dan mengalami plastis dari 235,33 MPa hingga 1329,4 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001405 pada saat elastis dan 0,001693 hingga 0,14874 pada saat plastis.

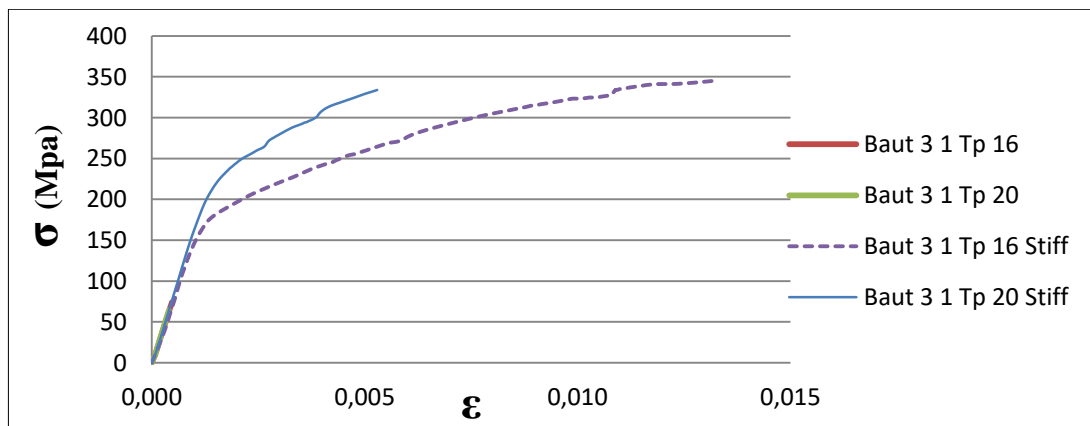


Gambar 4.31: Tegangan-Regangan baut 2 pada model 1 baut disusun sejajar

### 4.3.1.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,176 MPa dan mengalami plastis dari 10,608 MPa hingga 75,963 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000083 pada saat elastis dan 0,000085 hingga 0,000474 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,384 MPa dan mengalami plastis dari 10,567 MPa hingga 64,115 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000083 pada saat elastis dan 0,0000833 hingga 0,000403 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 142,03 MPa dan mengalami plastis dari 146,94 MPa hingga 344,86 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000964 pada saat elastis dan 0,001006 hingga 0,013158 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 192,61 MPa dan mengalami plastis dari 200,95 MPa hingga 333,79 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001219 pada saat elastis dan 0,001295 hingga 0,005294 pada saat plastis.

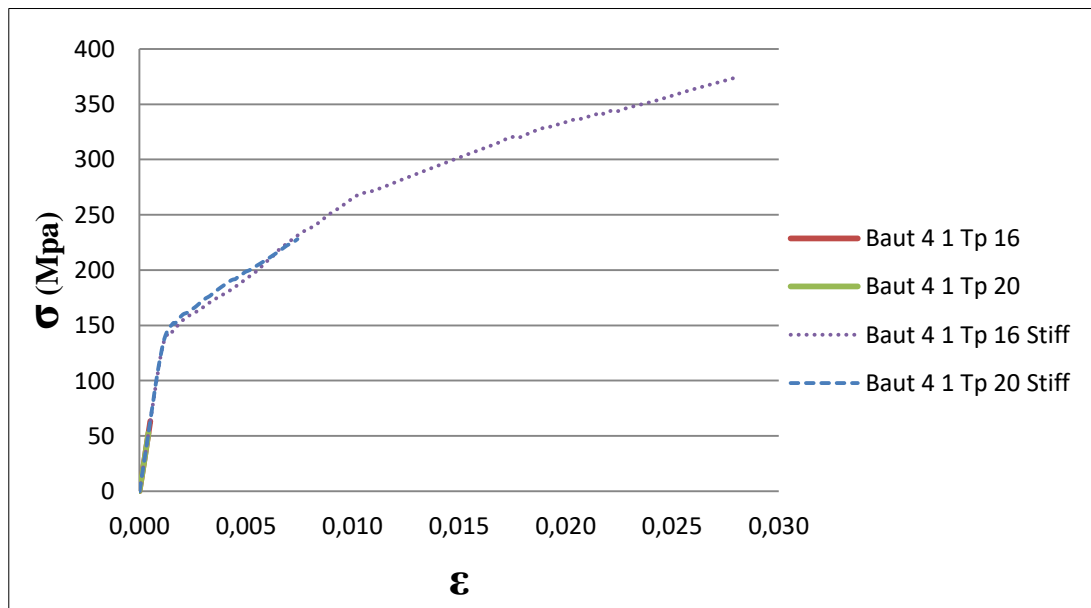


Gambar 4.32: Tegangan-Regangan baut 3 pada model 1 baut disusun sejajar

#### 4.3.1.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya, sebaliknya pada model Tp 16 dan Tp 20.

- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 63,347 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00051.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 52,801 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00042.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 125,89 MPa dan mengalami plastis dari 129,45 MPa hingga 373,94 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00103 pada saat plastis dan 0,00107 hingga 0,02793 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 133,24 MPa dan mengalami plastis dari 141,17 MPa hingga 227,96 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0011 pada saat plastis dan 0,00122 hingga 0,00741 pada saat plastis.



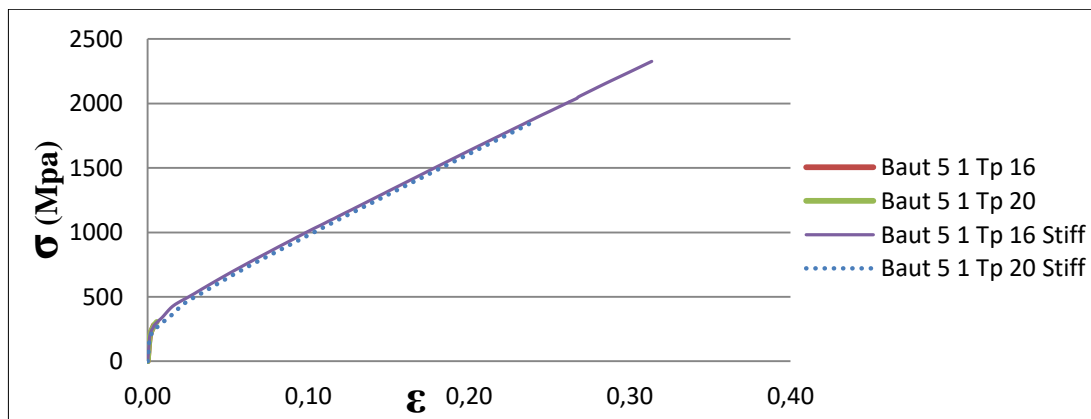
Gambar 4.33: Tegangan-Regangan baut 4 pada model 1 baut disusun sejajar



#### 4.3.1.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 151,57 MPa dan mengalami plastis dari 158,28 MPa hingga 281,19 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000985 pada saat elastis dan 0,001041 hingga 0,003906 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 158,04 MPa dan mengalami plastis dari 165,8 MPa hingga 305,41 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000974 pada saat elastis dan 0,001031 hingga 0,005677 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 122,41 MPa dan mengalami plastis dari 143 MPa hingga 2326,5 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000747 pada saat elastis dan 0,000871 hingga 0,3136 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 180,71 MPa dan mengalami plastis dari 196,72 MPa hingga 1846,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001178 pada saat elastis dan 0,00158 hingga 0,238160 pada saat plastis.

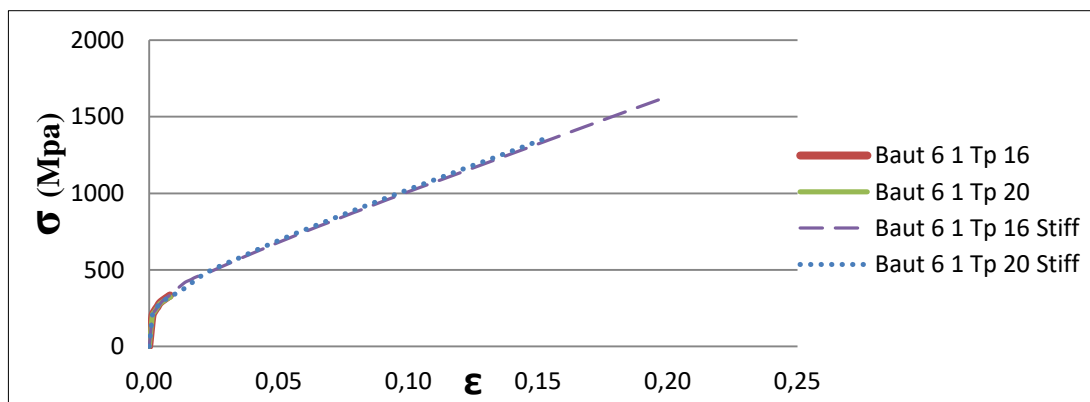


Gambar 4.34: Tegangan-Regangan baut 5 pada model 1 baut disusun sejajar

#### 4.3.1.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 197,51 MPa dan mengalami plastis dari 210,3 MPa hingga 322,57 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00126 pada saat plastis dan 0,001427 hingga 0,008054 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 204,09 MPa dan mengalami plastis dari 210,81 MPa hingga 321,93 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001275 pada saat plastis dan 0,001398 hingga 0,008241 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 141,32 MPa dan mengalami plastis dari 146,11 MPa hingga 337,52 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00069 pada saat plastis dan 0,000788 hingga 0,201 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,74 MPa dan mengalami plastis dari 203,73 MPa hingga 1360,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001042 pada saat plastis dan 0,001262 hingga 0,15325 pada saat plastis.

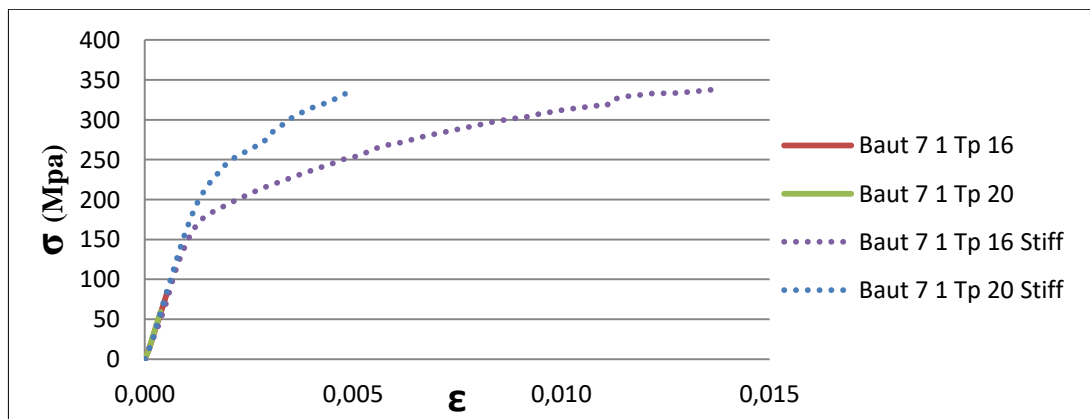


Gambar 4.35: Tegangan-Regangan baut 6 pada model 1 baut disusun sejajar

#### 4.3.1.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,571 MPa dan mengalami plastis dari 11,425 MPa hingga 82,422 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00009 pada saat elastis dan 0,0001 hingga 0,00053 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,853 MPa dan mengalami plastis dari 12,109 MPa hingga 59,234 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00009 pada saat elastis dan 0,0001 hingga 0,00038 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 141,32 MPa dan mengalami plastis dari 146,11 MPa hingga 337,52 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00096 pada saat elastis dan 0,001 hingga 0,01359 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa 201,75 MPa dan mengalami plastis dari 210,78 MPa hingga 332,42 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00132 pada saat elastis dan 0,00142 hingga 0,00481 pada saat plastis.

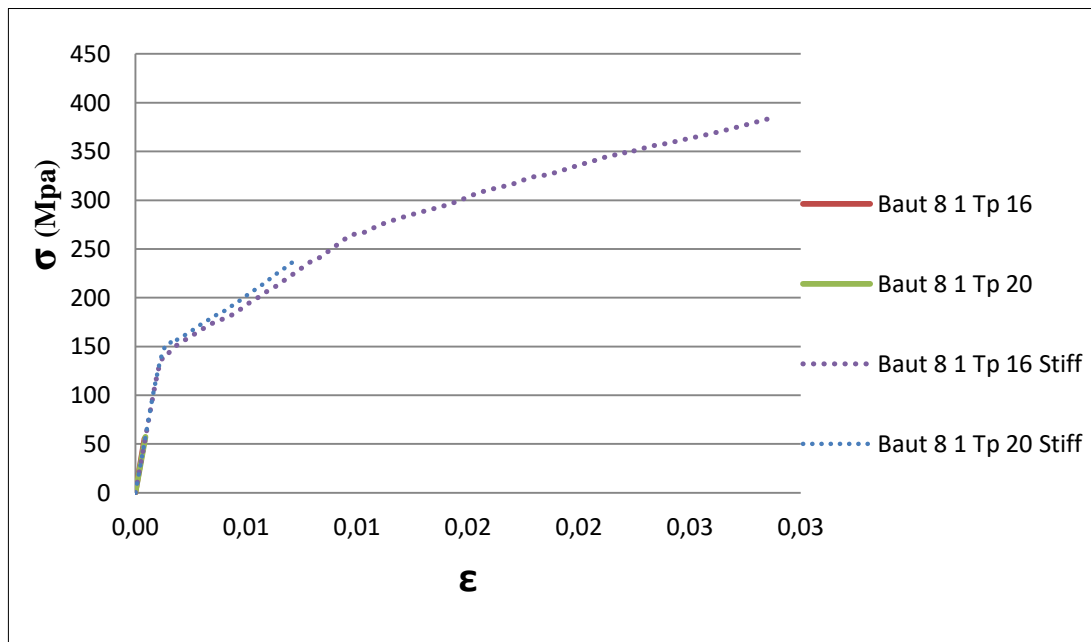


Gambar 4.36: Tegangan-Regangan baut 7 pada model 1 baut disusun sejajar

#### 4.3.1.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya, sebaliknya pada model Tp 16 dan Tp 20.

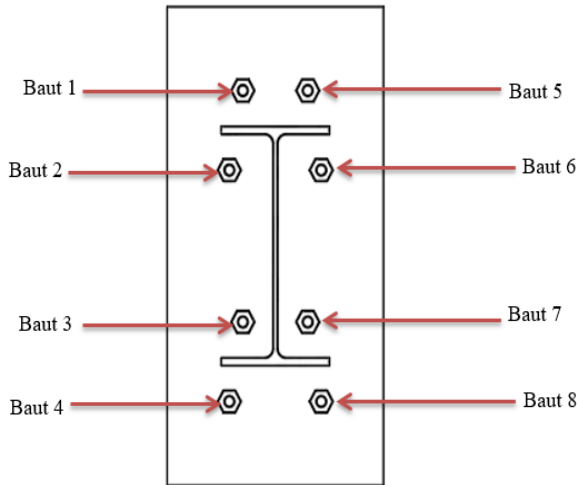
- A. Pada Tp 16 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 55,381 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00041.
- B. Pada Tp 20 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 57,347 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00046.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 120 MPa dan mengalami plastis dari 127,38 MPa hingga 383,64 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00097 pada saat elastis dan 0,00105 hingga 0,02857 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa 133,4 MPa dan mengalami plastis dari 143,25 MPa hingga 238,9 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0011 pada saat elastis dan 0,00122 hingga 0,00736 pada saat plastis.



Gambar 4.37: Tegangan-Regangan baut 8 pada model 1 baut disusun sejajar

### 4.3.2. Tegangan-Regangan Model 2 Baut Disusun Zig-zag

Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang dianalisis dalam *software*. Untuk lebih dijelas dapat dilihat pada gambar 4.3.2.1 sampai dengan gambar 4.3.2.8.



Gambar 4.38: Model 2 Baut disusun zig-zag

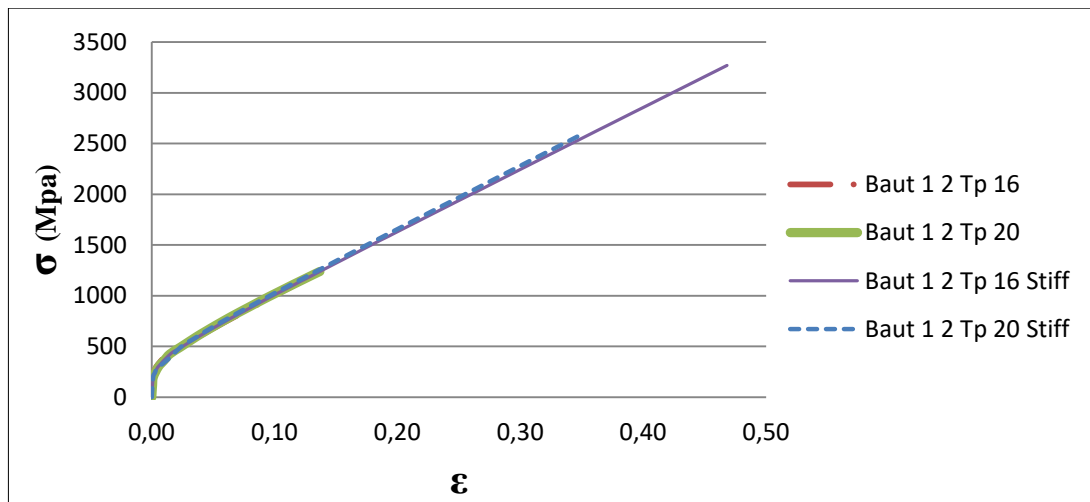
#### 4.3.2.1 Tegangan-regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 195,3 MPa dan mengalami plastis dari 218,02 MPa hingga 1192,3 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00126 pada saat plastis dan 0,001475 hingga 0,13076 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 115,85 MPa dan mengalami plastis dari 197,54 MPa hingga 1239 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000714 pada saat plastis dan 0,001354 hingga 0,136830 pada saat plastis.
- C. Pada model Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 203,62 MPa dan mengalami plastis dari 215,71 MPa

hingga 3269,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001356 pada saat elastis dan 0,001535 hingga 0,46827 pada saat plastis.

- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 176,17 MPa dan mengalami plastis dari 213,2 MPa hingga 2596,5 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001069 pada saat elastis dan 0,001451 . hingga 0,35099 pada saat plastis.



Gambar 4.39: Tegangan-Regangan baut 1 pada model 2 baut disusun zig-zag

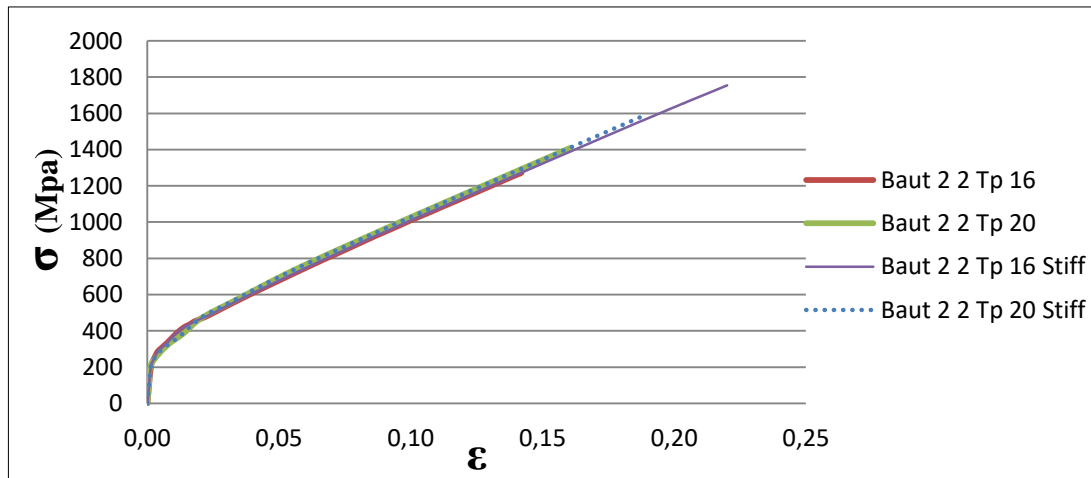
#### 4.3.2.2 Teganagan-regangan Pada Baut 2

Pada Gambar 4.40 dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 216,78 MPa dan mengalami plastis dari 235,39 MPa hingga 1272,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001551 pada saat elastis dan 0,00209 hingga 0,142010 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 120,92 MPa dan mengalami plastis dari 215,07 MPa hingga

1408,9 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000724 pada saat plastis dan 0,001421 hingga 0,160430 pada saat plastis.

- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 133,84 MPa dan mengalami plastis dari 156,02 MPa hingga 1754,3 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000817 pada saat plastis dan 0,000968 hingga 0,220 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 121,52 MPa dan mengalami plastis dari 141,8 MPa hingga 1592,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000732 pada saat plastis dan 0,000851 hingga 0,1893 pada saat plastis.



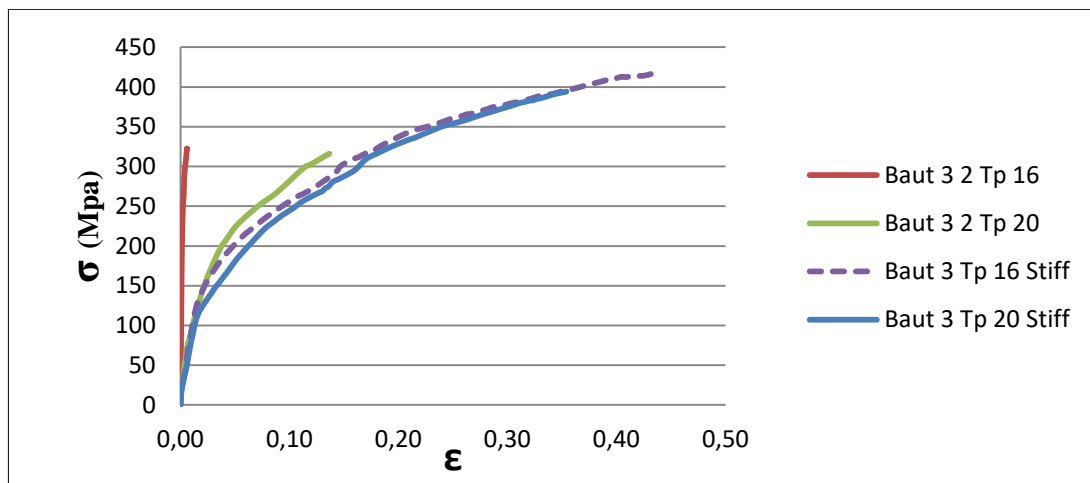
Gambar 4.40: Tegangan-Regangan baut 2 pada model 2 baut disusun zig-zag

#### 4.3.2.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 187,37 MPa dan mengalami plastis dari 190,97 MPa hingga 322,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001218 pada saat plastis dan 0,001253 hingga 0,005952 pada saat plastis.

- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 12,276 MPa dan mengalami plastis dari 15,321 MPa hingga 315,9 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000383 pada saat plastis dan 0,000721 hingga 0,136530 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 104,85 MPa dan mengalami plastis dari 125,87 MPa hingga 416,51 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,011479 pada saat plastis dan 0,014879 hingga 0,43223 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 77,936 MPa dan mengalami plastis dari 89,876 MPa hingga 394,15 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0095 pada saat plastis dan 0,011498 hingga 0,35411 pada saat plastis.



Gambar 4.41: Tegangan-Regangan baut 3 pada model 2 baut disusun zig-zag

#### 4.3.2.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

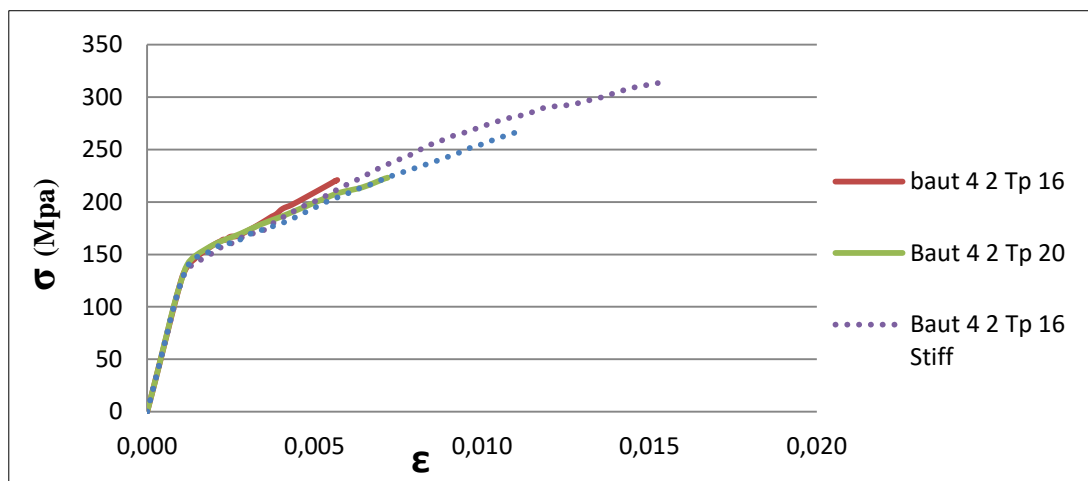
Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 126,5 MPa dan mengalami plastis dari 131,47 MPa hingga 220,93



MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00103 pada saat elastis dan 0,00108 hingga 0,00568 pada saat plastis.

- B. Pada Tp 20 dapat didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,37 MPa dan mengalami plastis dari 139,97 MPa hingga 223,18 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0010 pada saat elastis dan 0,00119 hingga 0,00718 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 114,41 MPa dan mengalami plastis dari 117,26 MPa hingga 313,32 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00093 pada saat elastis dan 0,00095 hingga 0,01525 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 119,14 MPa dan mengalami plastis dari 124,44 MPa hingga 266,23 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00097 pada saat elastis dan 0,00102 hingga 0,011 pada saat plastis.

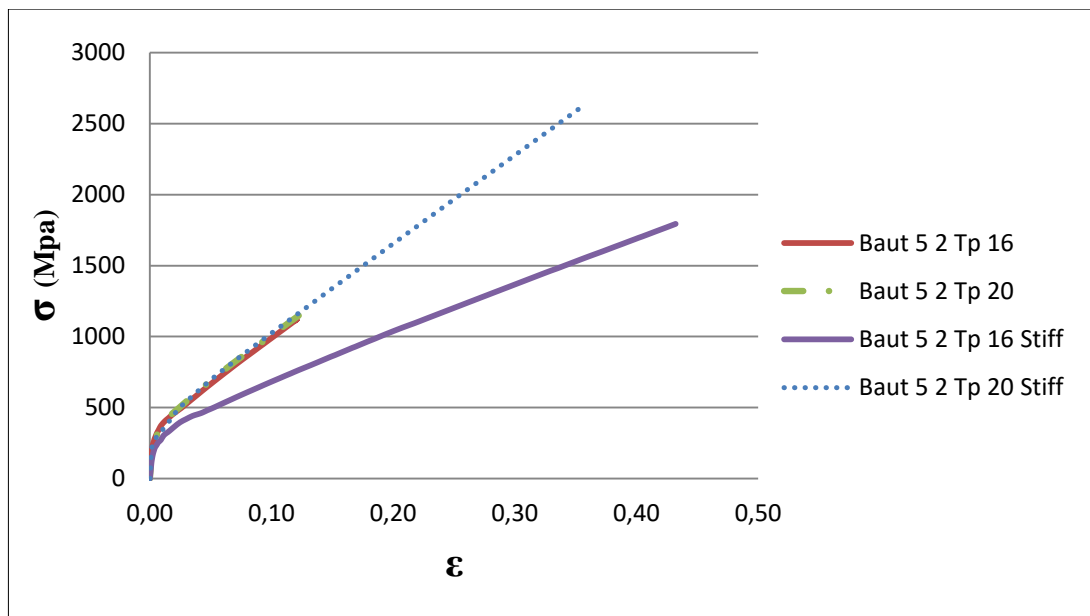


Gambar 4.42: Tegangan-Regangan baut 4 pada model 2 baut disusun zig-zag

#### 4.3.2.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 159,66 MPa dan mengalami plastis dari 176,25 MPa hingga 1121,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001064 pada saat plastis dan 0,001226 hingga 0,120860 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 117,71 MPa dan mengalami plastis dari 199,49 MPa hingga 1235,8 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000721 pada saat plastis dan 0,001369 hingga 0,13653 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 78,047 MPa dan mengalami plastis dari 86,165 MPa hingga 1794,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000908 pada saat plastis dan 0,00102 hingga 0,43223 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 178,05 MPa dan mengalami plastis dari 214,55 MPa hingga 2612,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001077 pada saat plastis dan 0,001442 hingga 0,35411 pada saat plastis.

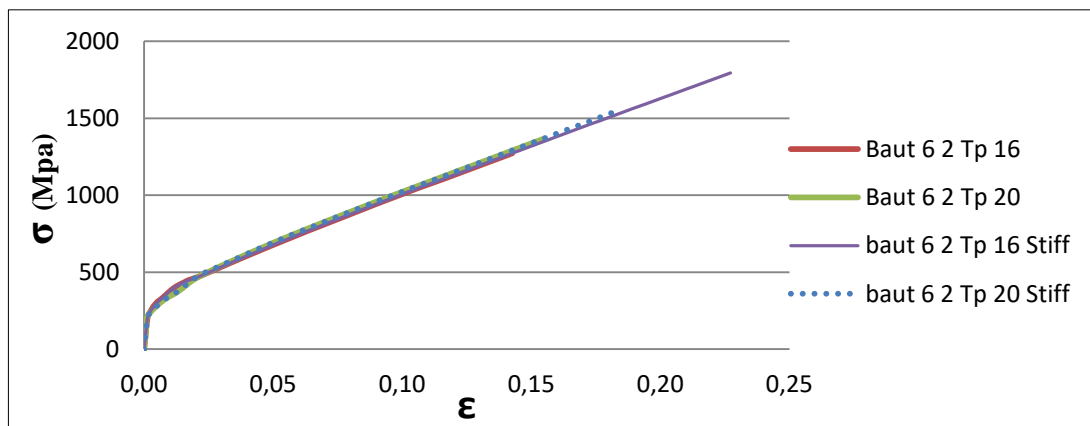


Gambar 4.43: Tegangan-Regangan baut 5 pada model 2 baut disusun zig-zag

#### 4.3.2.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 168,61 MPa dan mengalami plastis dari 191 MPa hingga 1271,8 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001052 pada saat plastis dan 0,001229 hingga 0,1426 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,22 MPa dan mengalami plastis dari 215,82 MPa hingga 1364,2 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000743 pada saat plastis dan 0,001369 hingga 0,136530 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 145,74 MPa dan mengalami plastis dari 168,16 MPa hingga 1557,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000879 pada saat plastis dan 0,00105 hingga 0,1848890 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 136,04 MPa dan mengalami plastis dari 158,76 MPa hingga 1794,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000833 . pada saat plastis dan 0,00098 . hingga 0,22719 pada saat plastis.

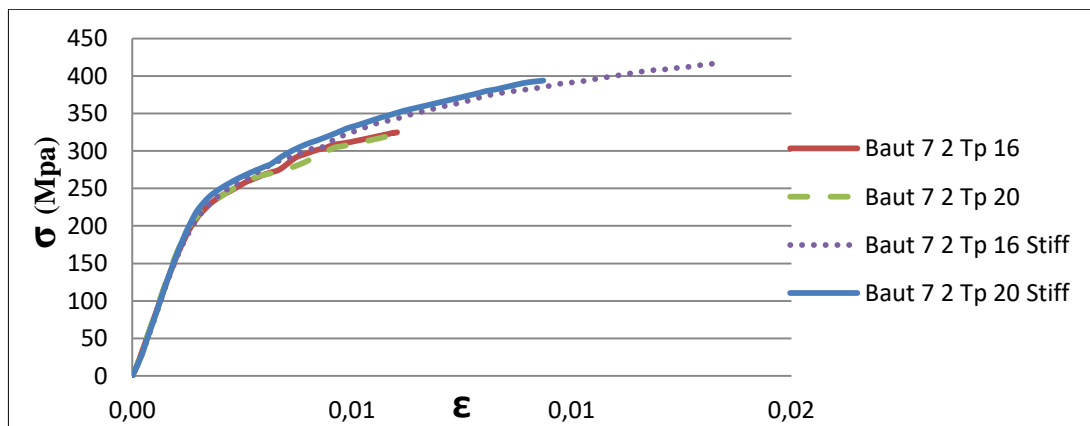


Gambar 4.44: Tegangan-Regangan baut 6 pada model 2 baut disusun zig-zag

#### 4.3.2.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 131,25 MPa dan mengalami plastis dari 136,85 MPa hingga 321,93 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00082 pada saat elastis dan 0,00086 hingga 0,00603 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 156,96 MPa dan mengalami plastis dari 195,5 MPa hingga 318,95 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00096 pada saat elastis dan 0,00126 hingga 0,00577 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 186,11 MPa dan mengalami plastis dari 190,24 MPa hingga 417,45 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00124 pada saat elastis dan 0,00128 hingga 0,01341 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 185,85 MPa dan mengalami plastis dari 197,77 MPa hingga 393,96 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00118 pada saat elastis dan 0,00127 hingga 0,00935 pada saat plastis.

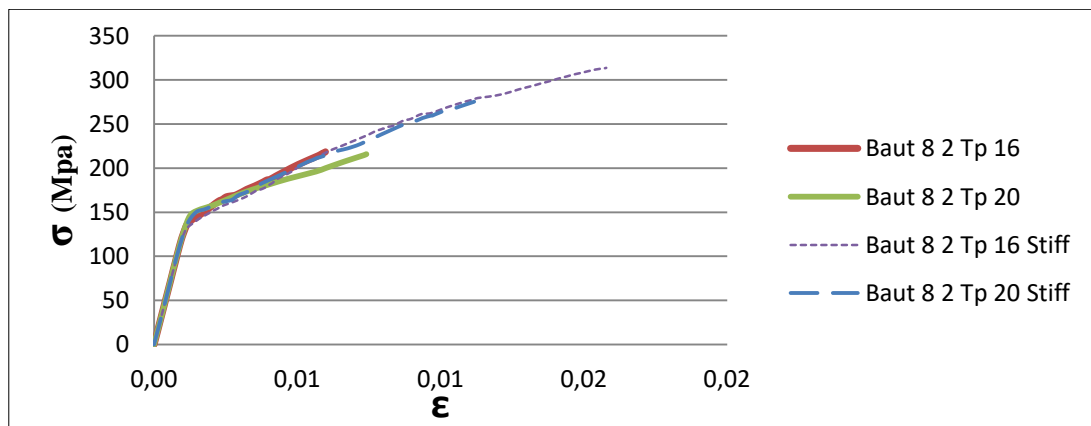


Gambar 4.45: Tegangan-Regangan baut 7 pada model 2 baut disusun zig-zag

#### 4.3.2.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

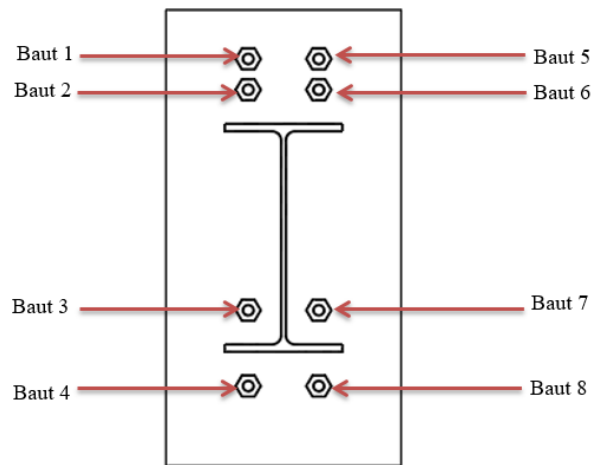
- A. Pada Tp 16 Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 121,65 MPa dan mengalami plastis dari 131,03 MPa hingga 218,44 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00598 pada saat plastis dan 0,00108 hingga 0,00598 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 129,38 MPa dan mengalami plastis dari 145,7 MPa hingga 215,8 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00105 pada saat plastis dan 0,00125 hingga 0,00741 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 121,58 MPa dan mengalami plastis dari 125,73 MPa hingga 313,67 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00099 pada saat plastis dan 0,00105 hingga 0,01578 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 120,64 MPa dan mengalami plastis dari 127,04 MPa hingga 275,29 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00098 pada saat plastis dan 0,00104 hingga 0,01117 pada saat plastis.



Gambar 4.46: Tegangan-Regangan baut 8 pada model 2 baut disusun zig-zag

### 4.3.3. Tegangan-Regangan Model 3 Baut Disusun Sejajar Diatas

Pada pelaksanaan uji tarik dengan bertambahnya beban secara konstan maka akan terlihat terjadinya perpanjangan-perpendekan baut, sehingga grafik yang dihasilkan merupakan hubungan laju penambahan beban dengan laju penambahan perpanjangan-perpendekan pada baut. Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang disusun sejajar diatas. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.3.3.1 sampai dengan gambar 4.3.3.8. dimana tegangan tarik terjadi pada baut teratas sedangkan baut pada bagian bawah



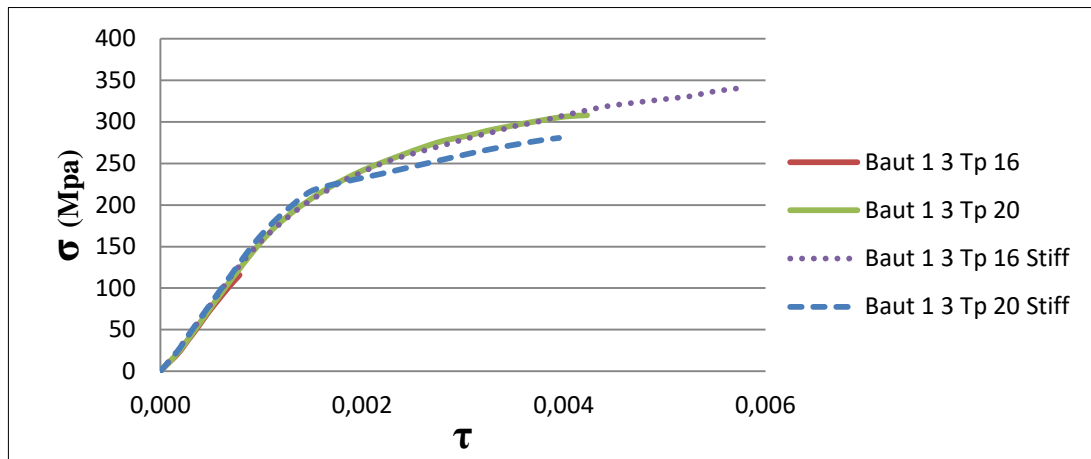
Gambar 4.47: Model 3 Baut disusun sejajar diatas.

#### 4.3.3.1 Tegangan-regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 20,298 MPa dan mengalami plastis dari 25,12 MPa hingga 115,78 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000167 pada saat plastis dan 0,0002 hingga 0,000785 pada saat plastis.

- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 21,17 MPa dan mengalami plastis dari 22,315 MPa hingga 307,99 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000165 pada saat plastis dan 0,000173 hingga 0,0004232 pada saat plastis.
- C. Pada model Tp 16 dengan *stiffners* 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 132,78 MPa dan mengalami plastis dari 134,57 MPa hingga 340,11 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000824 pada saat plastis dan 0,000836 hingga 0,00571 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 142,3 MPa dan mengalami plastis dari 150,28 MPa hingga 280,68 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000857 pada saat plastis dan 0,000908 hingga 0,003954 pada saat plastis.

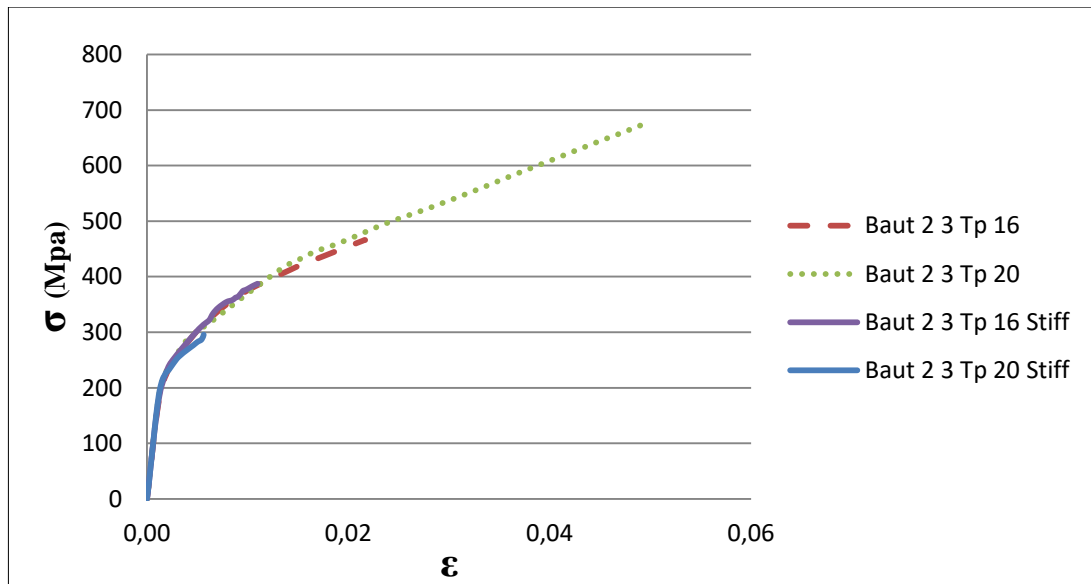


Gambar 4.48: Tegangan-Regangan baut 1 pada model 3 baut disusun sejajar diatas

#### 4.3.3.2 Tegangan-regangan Pada Baut 2

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 169,02 MPa dan mengalami plastis dari 188,52 MPa hingga 465,97 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001109 pada saat plastis dan 0,001304 hingga 0,021671 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 190,21 MPa dan mengalami plastis dari 204,32 MPa hingga 677,19 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001230 pada saat plastis dan 0,001387 hingga 0,0049688 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 164,76 MPa dan mengalami plastis dari 166,71 MPa hingga 387,33 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001048 pada saat plastis dan 0,001064 hingga 0,010981 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,89 MPa dan mengalami plastis dari 181,41 MPa hingga 295,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001061 pada saat plastis dan 0,001129 hingga 0,005634 pada saat plastis.



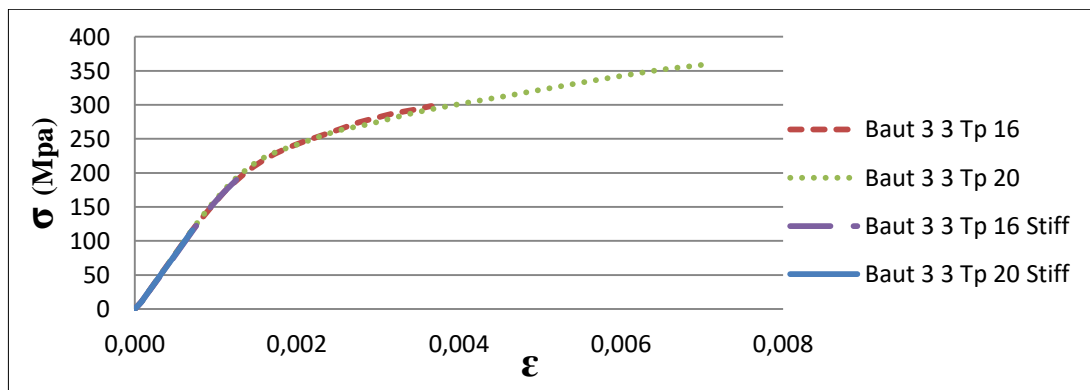
Gambar 4.49: Tegangan-Regangan baut 2 pada model 3 baut disusun sejajar diatas



### 4.3.3.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,16 MPa dan mengalami plastis dari 168,2 MPa hingga 298,01 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000757 pada saat elastis dan 0,001075 hingga 0,003644 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 163,85 MPa dan mengalami plastis dari 192,97 MPa hingga 358,67 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00102 pada saat elastis dan 0,001256 hingga 0,007 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 9,525 MPa dan mengalami plastis dari 11,054 MPa hingga 189,78 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000075 pada saat elastis dan 0,000084 hingga 0,001254 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,254 MPa dan mengalami plastis dari 12,18 MPa hingga 115,65 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000088 pada saat elastis dan 0,000093 hingga 0,000709 pada saat plastis.

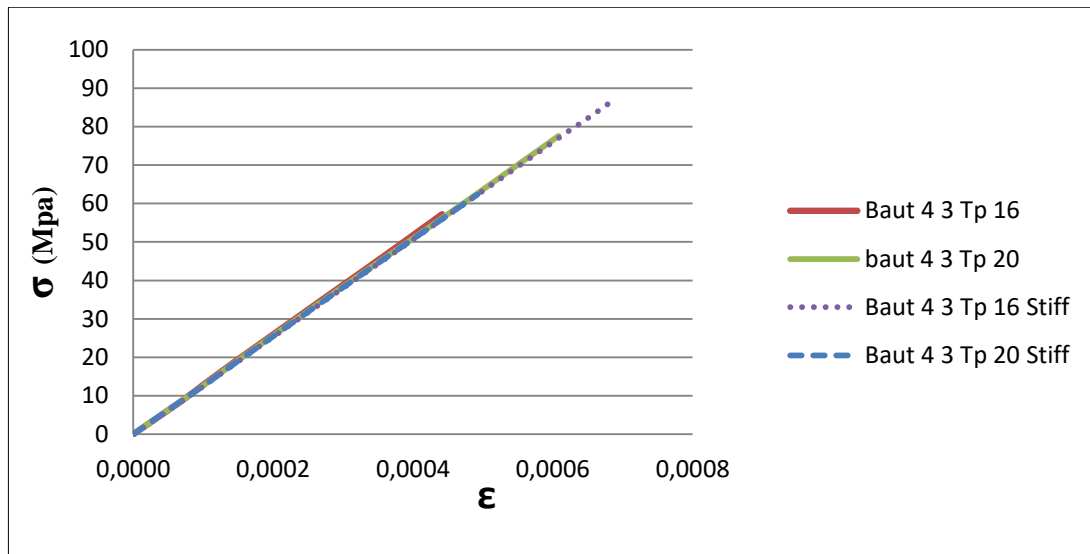


Gambar 4.50: Tegangan-Regangan baut 3 pada model 3 baut disusun sejajar diatas

#### 4.3.3.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat linier, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya. Hal ini dikarenakan baut mengalami tekan

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 57,228 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00044.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 77,604 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00061.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 86,58 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00068
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 62,361 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00049.

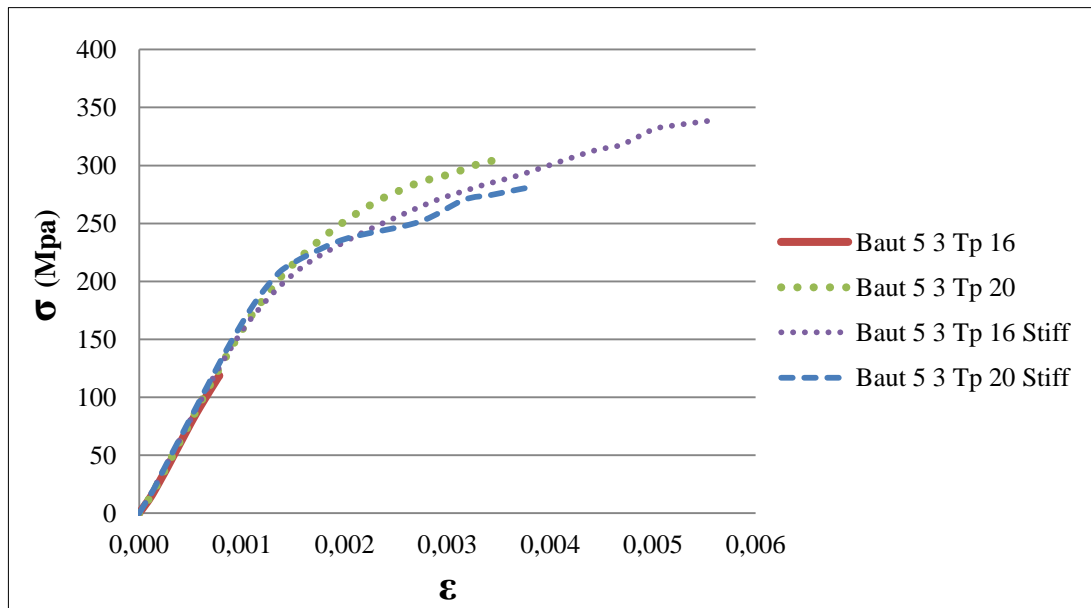


Gambar 4.451: Tegangan-Regangan baut 4 pada model 3 baut disusun sejajar diatas

#### 4.3.3.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 16,747 MPa dan mengalami plastis dari 23,147 MPa hingga 118,63 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000131 pada saat elastis dan 0,000172 hingga 0,000780 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 140,53 MPa dan mengalami plastis dari 153,81 MPa hingga 304,45 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000882 pada saat elastis dan 0,000972 hingga 0,003447 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 166,39 MPa dan mengalami plastis dari 186,87 MPa hingga 339,09 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001076 pada saat elastis dan 0,001271 hingga 0,005598 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,62 MPa dan mengalami plastis dari 186,11 MPa hingga 280,62 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00106 pada saat elastis dan 0,001162 hingga 0,00381 pada saat plastis.

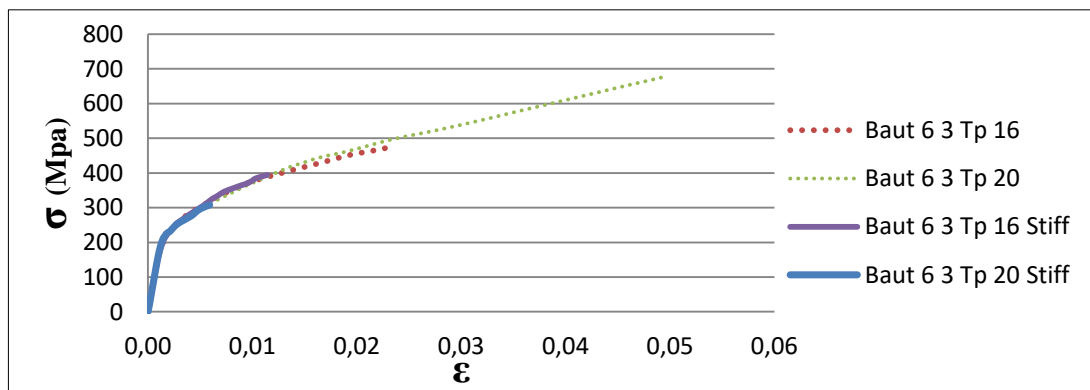


Gambar 4.52: Tegangan-Regangan baut 5 pada model 3 baut disusun sejajar diatas

#### 4.3.3.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 191,99 MPa dan mengalami plastis dari 475,23 MPa hingga 118,63 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001334 pada saat elastis dan 0,001747 hingga 0,023329 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 175,07 MPa dan mengalami plastis dari 182,34 MPa hingga 676,68 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001092 pada saat elastis dan 0,001151 hingga 0,0049411 pada saat plastis
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 164,78 MPa dan mengalami plastis dari 166,6 MPa hingga 394,21 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001057 pada saat elastis dan 0,001071 hingga 0,011429 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 165,35 MPa dan mengalami plastis dari 171,08 MPa hingga 307,88 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001008 pada saat elastis dan 0,00105 hingga 0,005904 pada saat plastis.

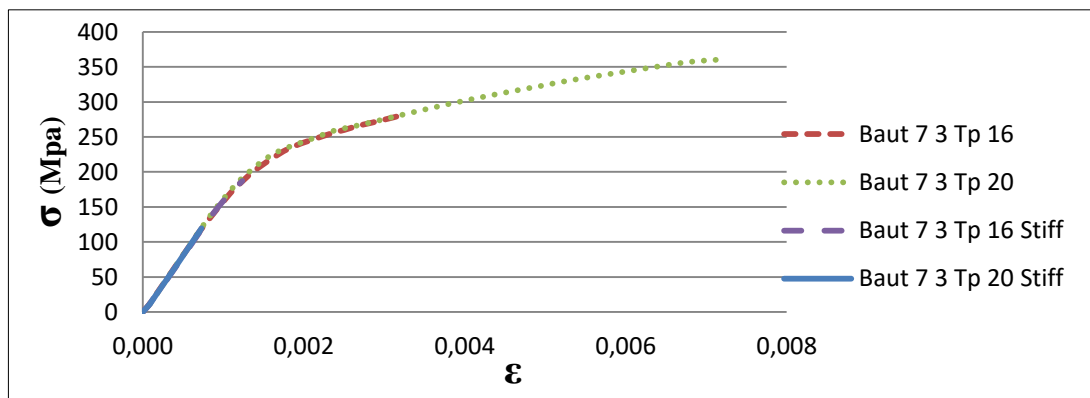


Gambar 4.53: Tegangan-Regangan baut 6 pada model 3 baut disusun sejajar diatas

#### 4.3.3.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sebaliknya pada Tp 16 dengan *Stiffners*

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,39 MPa dan mengalami plastis dari 167,44 MPa hingga 281,86 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00076 pada saat elastis dan 0,00107 hingga 0,00326 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 163,48 MPa dan mengalami plastis dari 192,22 MPa hingga 361,4 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00102 pada saat elastis dan 0,00125 hingga 0,00721 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 8,7318 MPa dan mengalami plastis dari 10,254 MPa hingga 187,13 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00007 pada saat elastis dan 0,00008 hingga 0,00124 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,591 MPa dan mengalami plastis dari 12,553 MPa hingga 119,43 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00009 pada saat elastis dan 0,0001 hingga 0,00073 pada saat plastis.

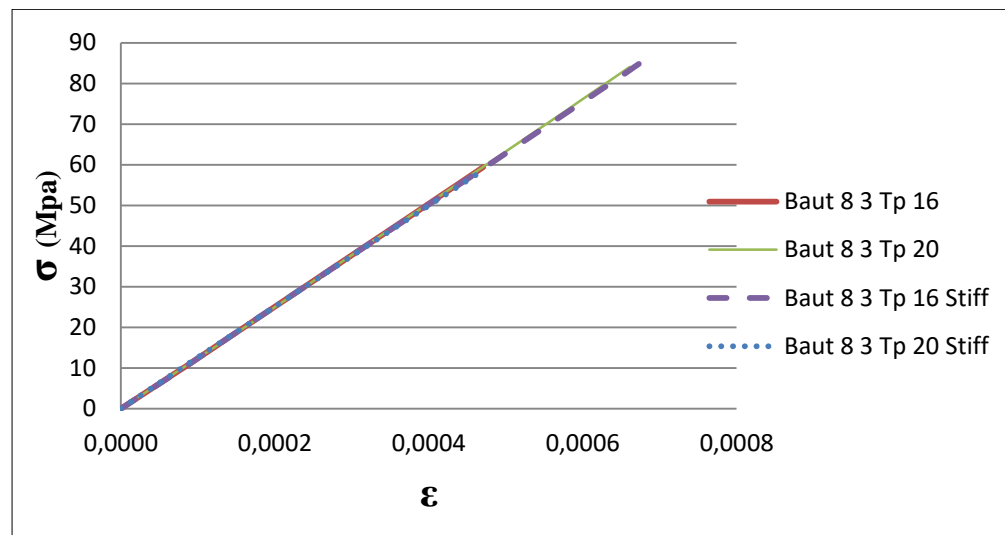


Gambar 4.54: Tegangan-Regangan baut 7 pada model 3 baut disusun sejajar diatas

#### 4.3.3.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar 4.52 dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat linier, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 59,431 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00047.
- B. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 84,062 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00066
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 85,051 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00067
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 89,429 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00070 .

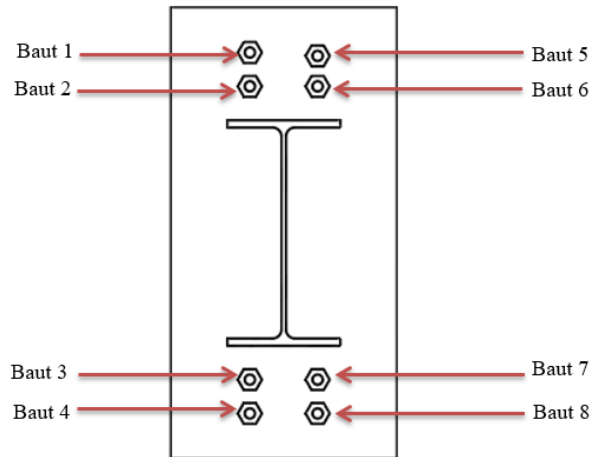


Gambar 4.55: Tegangan-Regangan baut 4 pada model 3 baut disusun sejajar diatas

#### 4.3.4. Tegangan-Regangan Model 4 Baut Disusun Sejajar Atas Dan Bawah

Pada pelaksanaan uji tarik dengan bertambahnya beban secara konstan maka akan terlihat terjadinya perpanjangan-perpendekan baut, sehingga grafik yang dihasilkan merupakan hubungan laju penambahan beban dengan laju penambahan

perpanjang-perpendekan pada baut. Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang dianalisis dalam *software*. Untuk lebih dijelas dapat dilihat pada gambar 4.3.4.1 sampai dengan gambar 4.3.4.8.



Gambar 4.56: Model 4 baut disusun sejajar diatas dan bawah

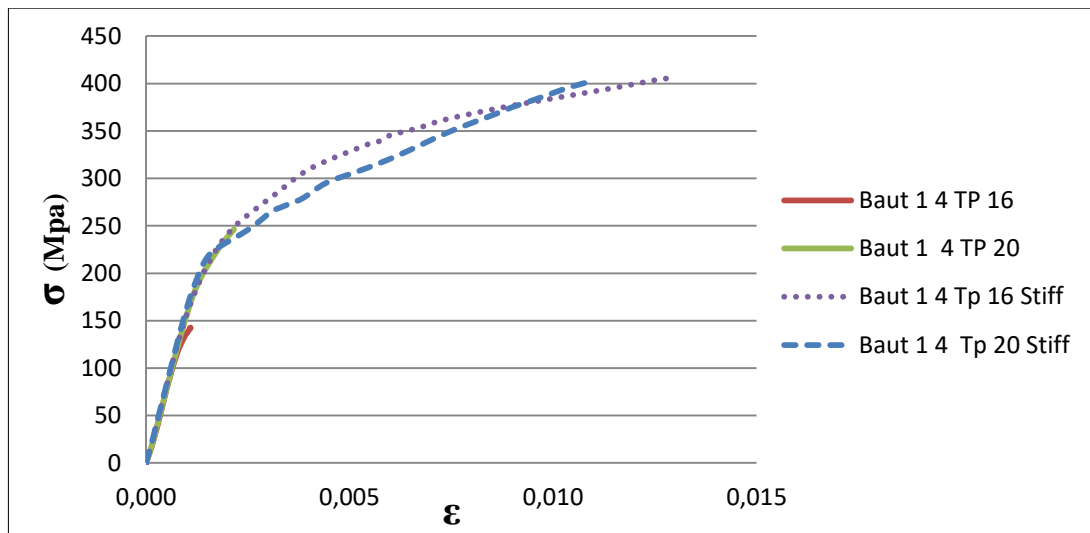
#### 4.3.4.1 Tegangan-regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 17,114 MPa dan mengalami plastis dari 19,58 MPa hingga 142,85 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000137 pada saat plastis dan 0,000153 hingga 0,001092 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,336 MPa dan mengalami plastis dari 11,514 MPa hingga 246,35 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000083 pada saat plastis dan 0,000091 hingga 0,00261 pada saat plastis.
- C. Pada model Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 181,25 MPa dan mengalami plastis dari

200,68 MPa hingga 406,19 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001214 pada saat elastis dan 0,001415 hingga 0,012902 pada saat plastis.

- D. Pada Tp 20 dengan *stiffeners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 211,5 MPa dan mengalami plastis dari 224,43 MPa hingga 401,34 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001425 pada saat elastis dan 0,001681 hingga 0,010998 pada saat plastis.



Gambar 4.57: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Model 4 baut 1

#### 4.3.4.2 Tegangan-regangan Pada Baut 2

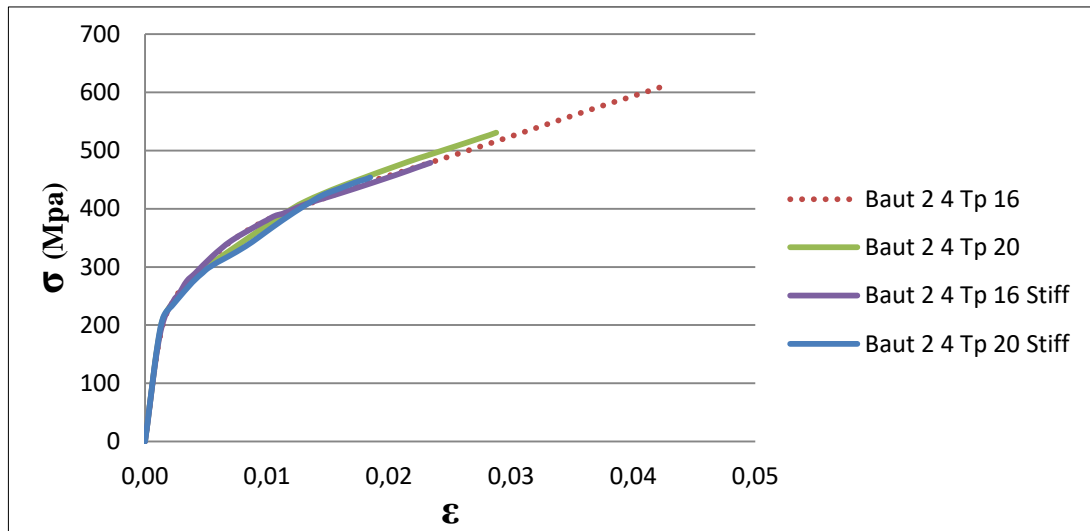
Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 203,74 MPa dan mengalami plastis dari 221,78 MPa hingga 612,69 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001485 pada saat elastis dan 0,001802 hingga 0,042559 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 187,59 MPa dan mengalami plastis dari 208,03 MPa hingga



530,76 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001220 pada saat elastis dan 0,001426 hingga 0,028769 pada saat plastis.

- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,66 MPa dan mengalami plastis dari 185,75 MPa hingga 478,99 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00119 pada saat elastis dan 0,001241 hingga 0,023386 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 188,73 MPa dan mengalami plastis dari 200,96 MPa hingga 453,85 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001201 pada saat elastis dan 0,001322 hingga 0,018447 pada saat plastis.



Gambar 4.58: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* model 4 baut 2

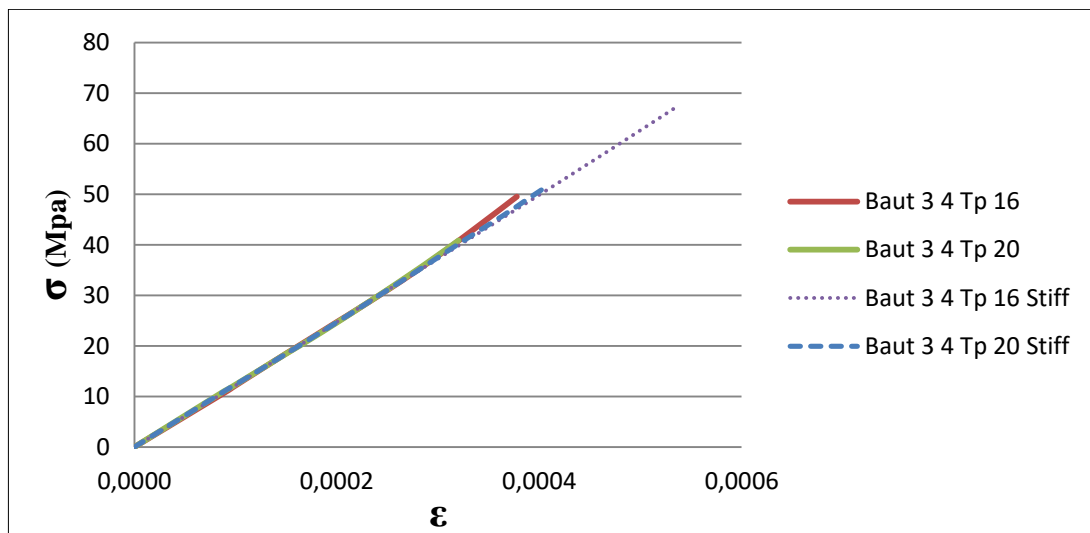
#### 4.3.4.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya. Sebaliknya pada Tp 16 *stiffners* dan Tp 20 *stiffners*

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 34,341 MPa dan mengalami plastis dari 35,341 MPa hingga

49,537 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000275 pada saat elastis dan 0,000284 hingga 0,000378 pada saat plastis.

- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,267 MPa dan mengalami plastis dari 11,525 MPa hingga 40,871 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000091 pada saat elastis dan 0,000093 hingga 0,00032 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 66,925 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,000533.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 51,913 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00041

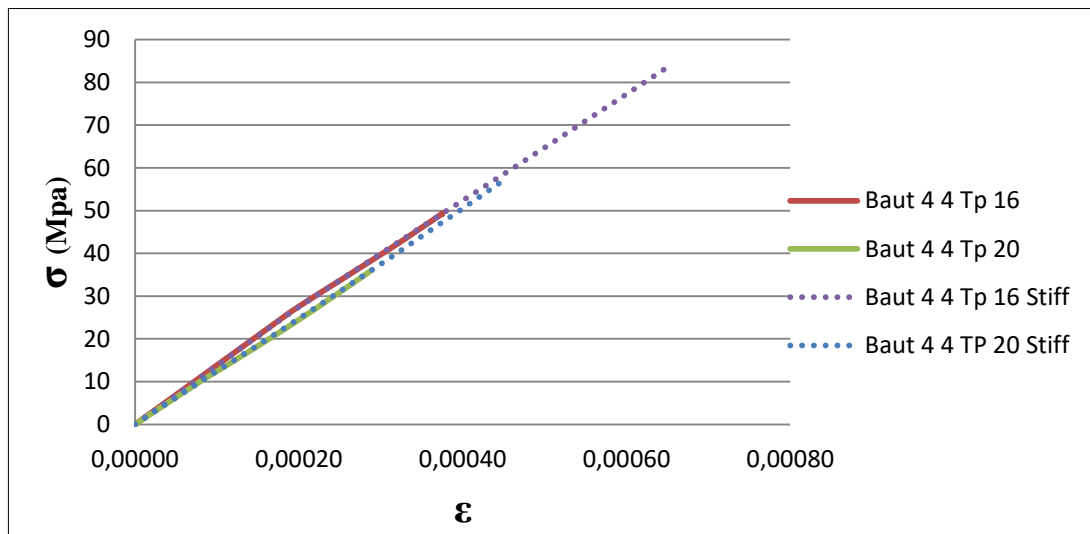


Gambar 4.59: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* model 4 baut 3

#### 4.3.4.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat linier, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya. Hal ini dikarenakan baut mengalami tekan

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 49,301 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00038 .
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 36,042 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00029 .
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 84,026 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00065
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 56,803 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00045.



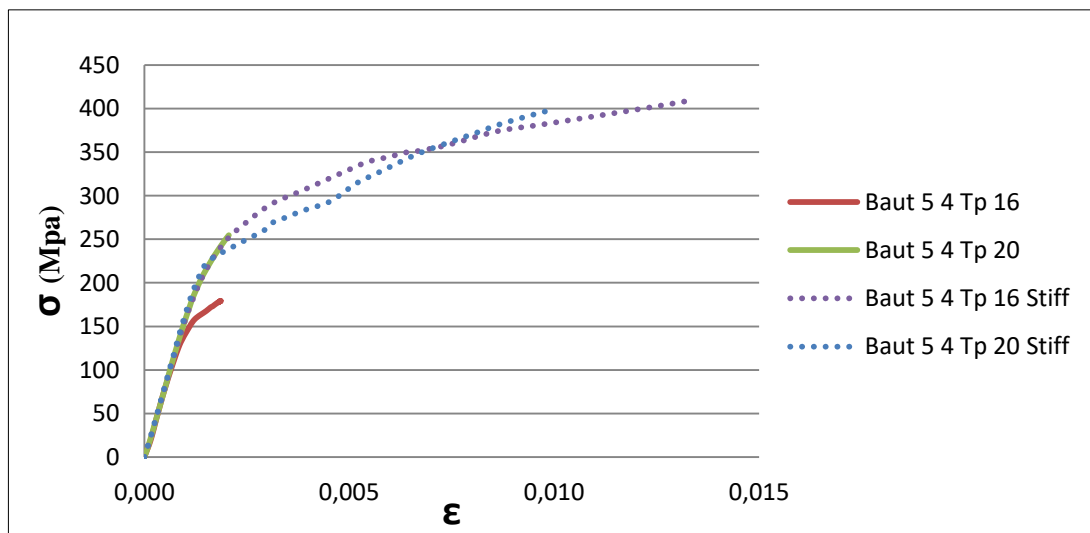
Gambar 4.60: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* model 4 baut 4

#### 4.3.4.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 17,15 MPa dan mengalami plastis dari 21,183 MPa hingga 178,95 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000139 pada saat plastis dan 0,000166 hingga 0,001865 pada saat plastis.

- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,852 MPa dan mengalami plastis dari 12,396 MPa hingga 254,65 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000091 pada saat plastis dan 0,000094 hingga 0,002062 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 204,73 MPa dan mengalami plastis dari 211,21 MPa hingga 409,51 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001395 pada saat plastis dan 0,001467 hingga 0,013348 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 191,67 MPa dan mengalami plastis dari 208,01 MPa hingga 398,93 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001196 pada saat plastis dan 0,001341 hingga 0,010051 pada saat plastis.

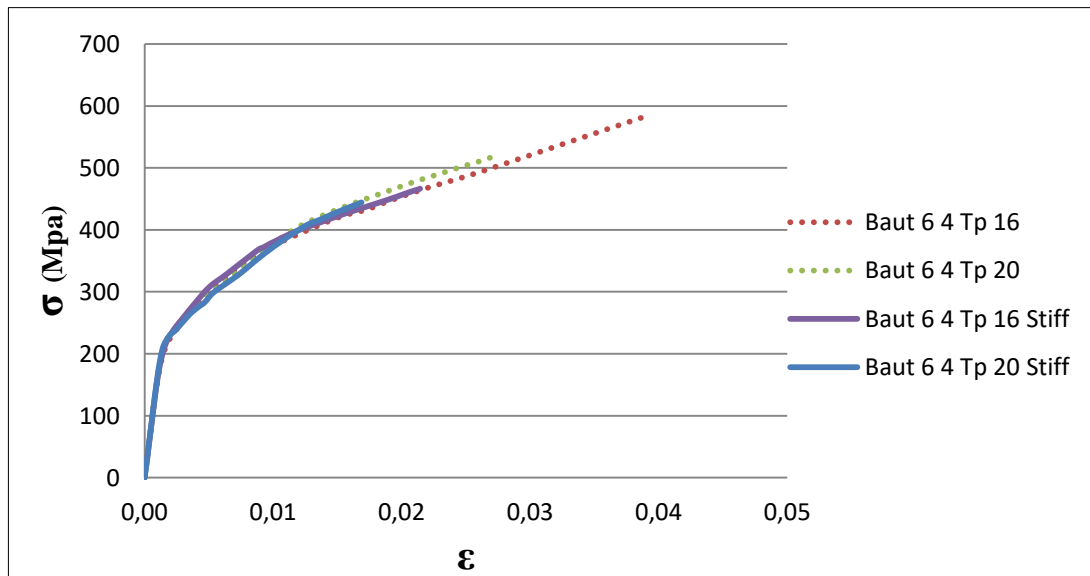


Gambar 4.61: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* model 4 baut 5

#### 4.3.4.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 201,76 MPa dan mengalami plastis dari 218,85 MPa hingga 585,72 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001488 pada saat plastis dan 0,001821 hingga 0,039330 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 224,6 MPa dan mengalami plastis dari 223,42 MPa hingga 517,92 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001771 pada saat plastis dan 0,002102 hingga 0,0027155 pada saat plastis.
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 212,43 MPa dan mengalami plastis dari 409,51 MPa hingga 466,46 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001573 pada saat plastis dan 0,001903 hingga 0,021439 pada saat plastis.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 170,16 MPa dan mengalami plastis dari 182,68 MPa hingga 444,08 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00105 pada saat plastis dan 0,001147 hingga 0,016879 pada saat plastis.

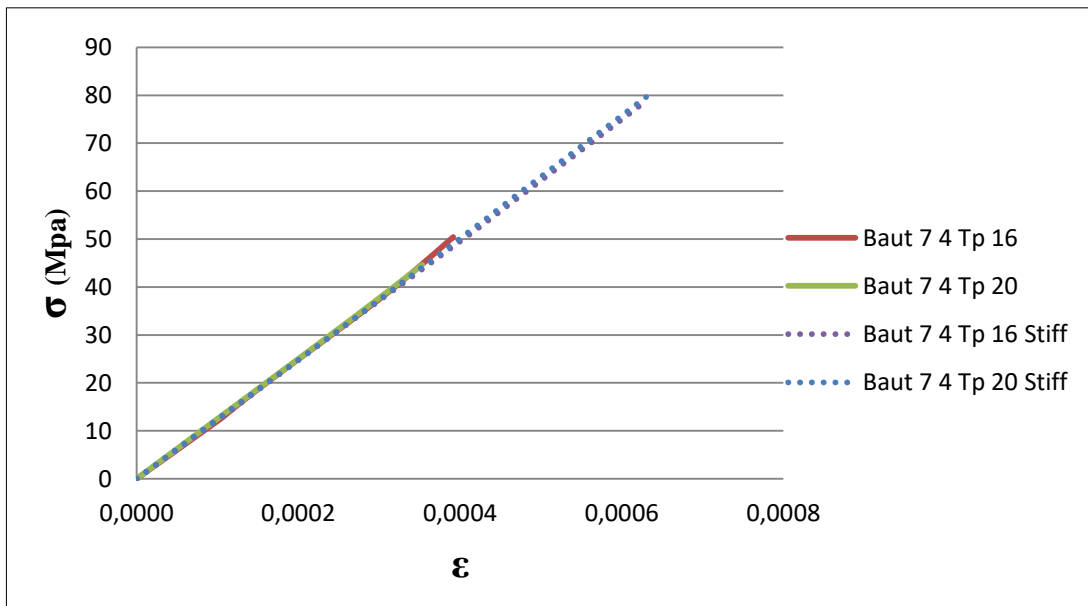


Gambar 4.62: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* model 4 baut 6

#### 4.3.4.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat linier, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya. Sebaliknya pada Tp 16

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 14,175 MPa dan mengalami plastis dari 14,736 MPa hingga 50,422 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00012 pada saat elastis dan 0,000125 hingga 0,00039 pada saat plastis.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 44,626 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00035 .
- C. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 78,77 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00063
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 79,628 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00063

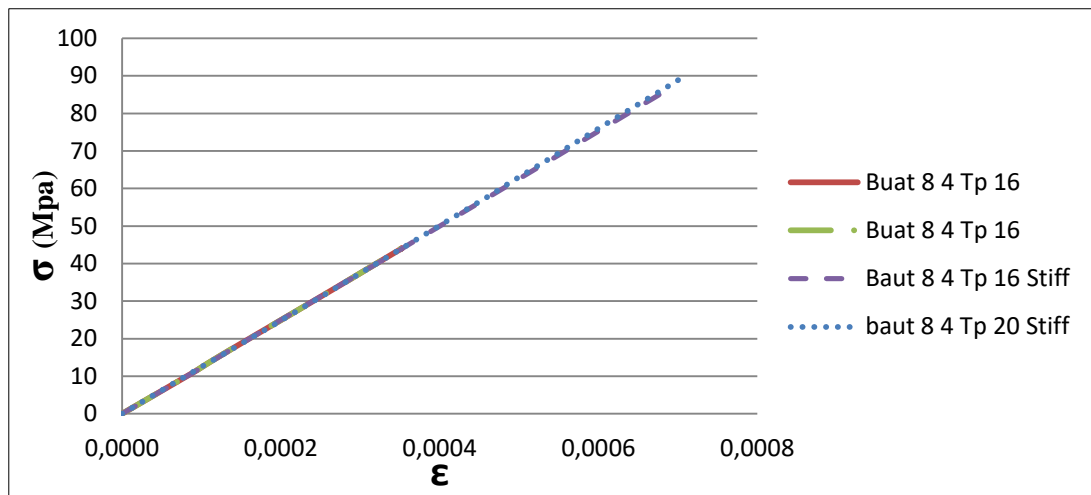


Gambar 4.63: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* model 4 baut 7

#### 4.3.4.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat linier, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada Tp 16 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 44,086 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00035.
- B. Pada Tp 20 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 43,873 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00035
- C. Pada Tp 16 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 85,441 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00068.
- D. Pada Tp 20 dengan *stiffners* didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 89,429 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,0007



Gambar 4.64: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* model 4 baut 8

#### 4.4 Perpendekan Dan Perpanjang Baut

Suatu bahan yang menerima beban tarik akan timbul gaya tarik dan mengakibatkan bahan bertambah panjang. Demikian juga pada pembebanan tekan, pada bahan yang bersangkutan akan terjadi perpendekan. Dari tabel dibawah dapat

disimpulkan bahwa perpanjangan terjadi pada baut 1, 2, 5, dan 6 yang mengalami beban tarik terbesar.

#### 4.4.1 Perpanjangan-Perpendekan Baut Model 1 Baut Disusun Sejajar

Berikut ini merupakan perpanjangan-perpendekan model 1 baut disusun sejajar.

Tabel 4.5 Perpanjangan-Perpendekan model 1 Baut disusun sejajar

Baut	Perpanjangan-perpendekan			
	mm			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	0,6102	0,8682	48,4800	38,7195
2	1,2531	1,3011	31,4430	22,3110
3	0,0071	0,0605	1,9737	0,7941
4	0,0759	0,0632	4,1895	1,1116
5	0,8586	0,8515	47,0400	35,7240
6	1,2081	1,2362	30,1500	22,9875
7	0,0078	0,0565	2,0391	0,7211
8	0,0616	0,0683	4,2857	1,1045

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu Tp 16 dengan *stiffners* sedangkan untuk yang terkecil terjadi pada Tp 16. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi pelat sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban.

#### 4.4.2 Perpanjangan-Perpendekan Baut Model 2 Baut Disusun Zig-Zag

Berikut ini merupakan perpanjangan-perpendekan model 2 baut disusun zig-zag

Tabel 4.6 Perpanjangan-Perpendekan model 2 Baut disusun Zig-zag

Baut	Perpanjangan-perpendekan			
	mm			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	19,6140	20,5395	70,2405	52,6485



Lanjutan Tabel 4.6 Perpanjangan-Perpendekan model 2 Baut disusun Zig-zag

Baut	Perpanjang-perpendekan			
	mm			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
2	21,3015	24,0645	33,0090	28,3950
3	0,8928	0,8550	1,9904	1,4233
4	0,8518	1,0774	2,2878	1,6499
5	18,129	20,4795	64,8345	53,1165
6	21,390	23,1645	34,0785	27,7335
7	0,9038	0,8648	2,0109	1,4030
8	0,8973	1,117	2,3675	1,676

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu Tp 16 dengan *stiffners* sedangkan untuk yang terkecil terjadi pada Tp 16. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi pelat sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban.

#### 4.4.3 Perpendekan-Perpanjang Baut Model 3 Baut Disusun Sejajar Diatas

Berikut ini merupakan perpanjang-perpendekan model 3 baut disusun sejajar diatas

Tabel 4.7 Perpanjangan-Perpendekan model 3 Baut disusun sejajar diatas

Baut	Perpanjang-perpendekan			
	mm			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	0,1178	0,6408	0,8566	0,5930
2	3,2507	7,4532	1,6472	0,8558
3	0,5487	1,0500	0,1881	0,1064
4	0,0062	0,0912	0,1026	0,0739
5	0,1170	0,5171	0,8397	0,5715
6	3,4994	7,4117	1,7144	0,8856
7	0,4884	1,0812	0,1856	0,1095
8	0,0706	0,0992	0,1012	0,0703

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu Tp 16 dengan *stiffners* sedangkan untuk yang terkecil terjadi pada Tp 16. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi pelat sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban.

#### 4.4.4 Perpendekan-Perpanjang Baut Model 4 Baut Disusun Diatas Dan Bawah

Berikut ini merupakan perpanjang-perpendekan model 4 baut disusun sejajar diatas dan bawah.

Tabel 4.8 Perpanjangan-Perpendekan model 4 Baut disusun sejajar diatas dan bawah

Baut	Perpanjang-perpendekan			
	mm			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	0,1644	0,3242	1,9353	1,6497
2	6,4077	4,3154	3,5079	2,7671
3	0,0567	0,0480	0,0799	0,0615
4	0,0563	0,0433	0,0981	0,0672
5	0,2797	0,3093	2,0022	1,5077
6	5,8995	4,0733	3,2159	2,5319
7	0,0587	0,0530	0,0945	0,0945
8	0,0529	0,0526	0,1020	0,1057

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu Tp 16 dengan *stiffners* sedangkan untuk yang terkecil terjadi pada Tp 16. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi pelat sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban.

#### 4.5 Beban Tarik Baut

Tegangan tarik adalah besar gaya tarik dibagi dengan luas penampang suatu benda. Tegangan tarik termasuk gaya persatuan luas.

#### 4.5.1 Beban Tarik Baut Model 1 Baut Disusun Sejajar

Berikut ini merupakan beban tarik-tekan model 1 baut disusun sejajar

Tabel 4.9 Beban tarik-tekan model 1 Baut disusun sejajar

Baut	Beban Tarik-Tekan			
	N			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	8668,67	3704,27	96510,57	61690,29
2	4702,95	55992,99	59495,89	229267,03
3	2350,28	7126,47	18904,73	42951,29
4	3886,80	193,88	1305,65	2145,22
5	8615,46	47327,37	93282,61	278653,89
6	3343,03	53923,32	58882,37	233503,10
7	2376,12	6013,49	14999,60	41823,54
8	387,61	660,23	520,88	4158,17

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 96510,57 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 3704,27 N.
- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 229267,03 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 4702,95 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 42951,29 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 2350,28 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 3886,8 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 193,88 N

- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 2728653,9 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 8615,46 N
- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 233503,1 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 3343,03 N
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 41823,54 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada TP 16 dengan nilai sebesar 2376,12 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 4158,17 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 387,61 N

#### 4.5.2 Beban Tarik Baut Model 2 Baut Disusun Sejajar

Berikut ini merupakan hasil analisis beban tarik-tekan model 2 baut disusun sejajar

Tabel 4.10 Beban tarik-tekan model 2 Baut disusun zig-zag

Baut	Beban tarik-tekan			
	N			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	43898,3	34509,70	124643,26	75330,23
2	47138,99	37859,86	75330,23	46176,71
3	20037,32	24475,52	18829,63	19256,55
4	299,17	6113,02	914,32	3967,75
5	44231,79	37971,87	123961,01	78471,64
6	51168,86	3113,72	77471,18	39295,65
7	22399,23	24782,53	20984,58	21130,96
8	617,34	8038,35	5303,23	5297,89

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 124643,3 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 34509,7 N.
- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 75330,23 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 37859,86 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 sebesar 24475,52 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 18829,63 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 6113,02 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 299,17 N
- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 123961,01 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 37971,87 N
- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 77471,18 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 3113,72 N
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada TP 20 sebesar 424782,53 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada TP 16 dengan *stiffners* sebesar 20984,58 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 20 sebesar 8038,35 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 617,34 N

#### **4.5.3 Beban Tarik Baut Model 3 Baut Disusun Sejajar Diatas**

Berikut ini merupakan hasil analisis beban tarik-tekan model 3 baut disusun sejajar diatas dapat dilihat table dibawah ini:

Tabel 4.11 Beban tarik-tekan model 3 Baut disusun sejajar diatas

Baut	Beban tarik-tekan			
	N			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	8993,75	26567,07	11481,94	7730,32
2	15702,98	19117,04	9760,78	4906,78
3	15702,98	17869,39	6408,84	2882,77
4	3065,55	4567,78	4132,97	4026,05
5	8369,29	23330,71	13281,76	7667,95
6	16920,09	20281,71	9287,02	4305,57
7	12452,87	18706,67	6461,02	6461,02
8	3837,66	5122,49	4467,22	4467,22

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 265567,07 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 7730,32 N.
- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 19117,04 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 4906,78 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 17869,39 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 2882,77 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 4567,78 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 3065,55 N
- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 23330,71 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 7667,95 N

- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 20281,71 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* nilai sebesar 4305,57 N
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 18706,67 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 6461,02 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 5122,49 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 3837,66 N

#### 4.5.4 Beban Tarik Baut Model 4 Baut Disusun Atas Dan Bawah

Berikut ini hasil analisis beban tarik-tekan model 1 baut disusun sejajar

Tabel 4.12 Beban tarik-tekan model 4 Baut disusun sejajar diatas dan bawah

Baut	Beban tarik-tekan			
	N			
	Tp 16	Tp 20	Tp 16 <i>Stiffners</i>	Tp 20 <i>Stiffners</i>
1	11377,05	17464,11	12799,09	9252,91
2	23807,52	15586,39	11511,72	5714,36
3	2419,19	2722,64	3541,60	3276,33
4	3466,24	2785,27	4503,11	3677,03
5	15876,60	17975,29	16428,00	10209,59
6	16714,91	15873,55	9767,40	7730,83
7	2461,58	2871,82	4229,96	4439,73
8	2857,06	3212,44	4191,01	5009,46

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 17464,11 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 9252,91 N.

- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 23807,52 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 5714,36 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 3541,6 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 2419,19 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 4503,11 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 2785,27 N
- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 17975,29 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 10209,59 N
- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 16714,91 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* nilai sebesar 7730,83 N
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 4439,73 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 2461,58 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* nilai sebesar 5009,46 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 2857,06 N

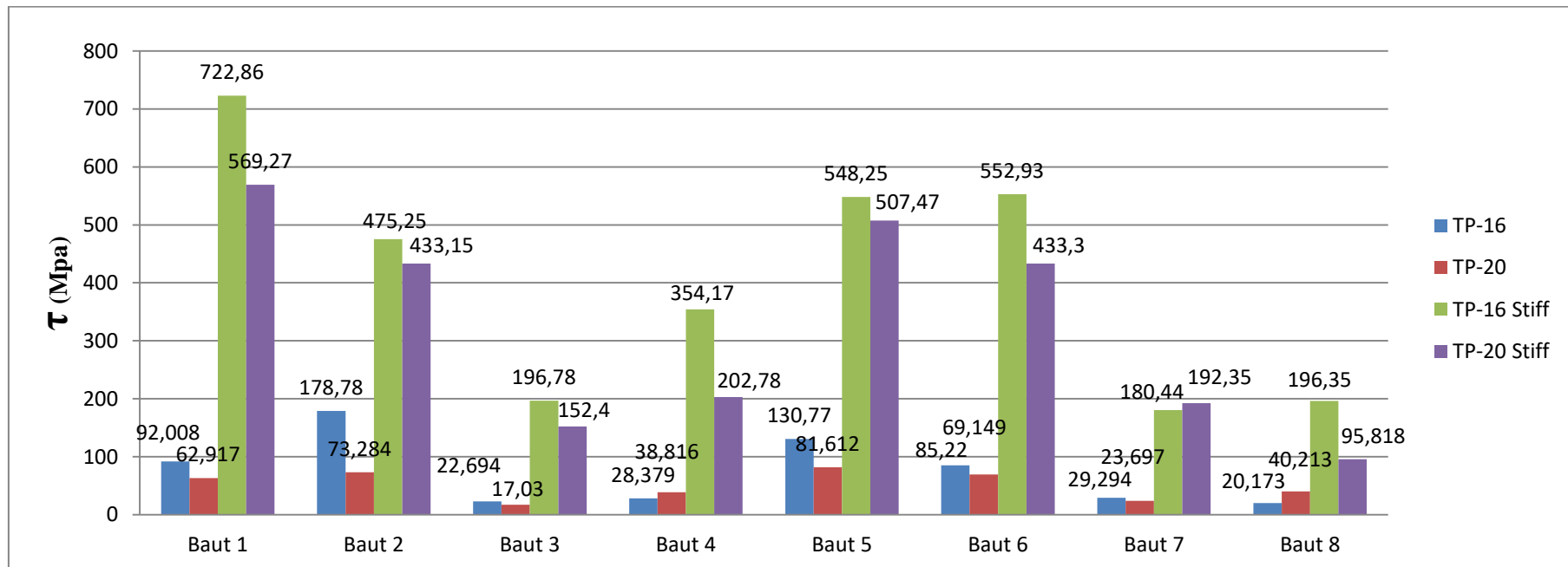


## 4.6 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen.

### 4.6.1 Tegangan Geser Model 1 Baut Disusun Sejajar

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model 1 baut disusun sejajar



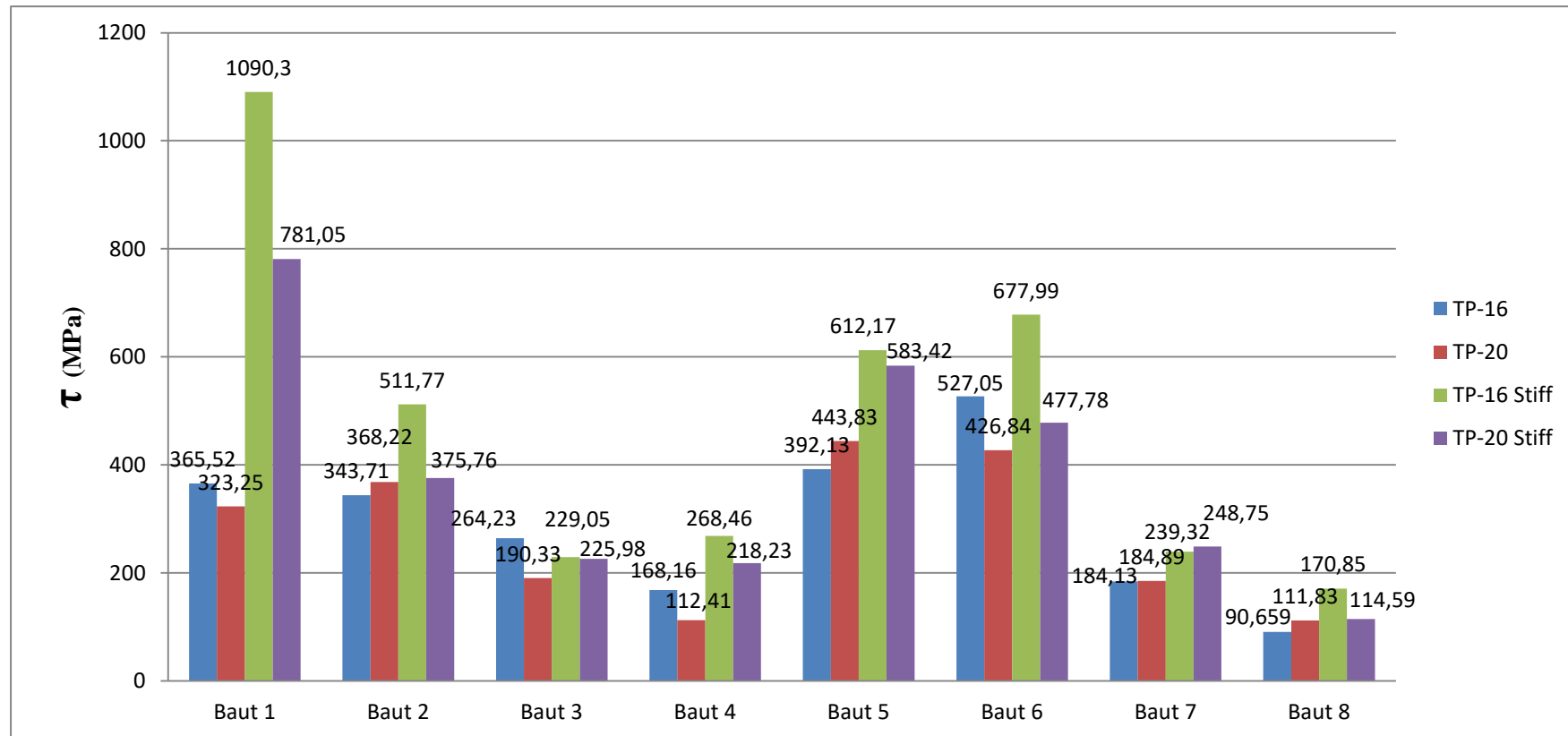
Gambar 4.65: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Model 1 Baut Disusun Sejajar

Dari gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah Tp 16 *stiffners* dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 *stiffners* dengan nilai sebesar 722,86 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 62,917 Mpa
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 *stiffners* dengan nilai sebesar 475,25 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 73,284 Mpa
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 *stiffners* dengan nilai sebesar 196,78 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 17,03 Mpa
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 *stiffners* dengan nilai sebesar 354,17 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 28,379 Mpa
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 *stiffners* dengan nilai sebesar 548,25 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 81,612 Mpa
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 *stiffners* dengan nilai sebesar 552,93 MPa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 69,149 Pa
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 *stiffners* dengan nilai sebesar 192,325 sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 23,697 Mpa
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 *stiffners* dengan nilai sebesar 196,35Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 20,173 Mpa

#### 4.6.2 Tegangan Geser Model 2 Baut Disusun Zig-Zag

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model 2 baut disusun zig-zag



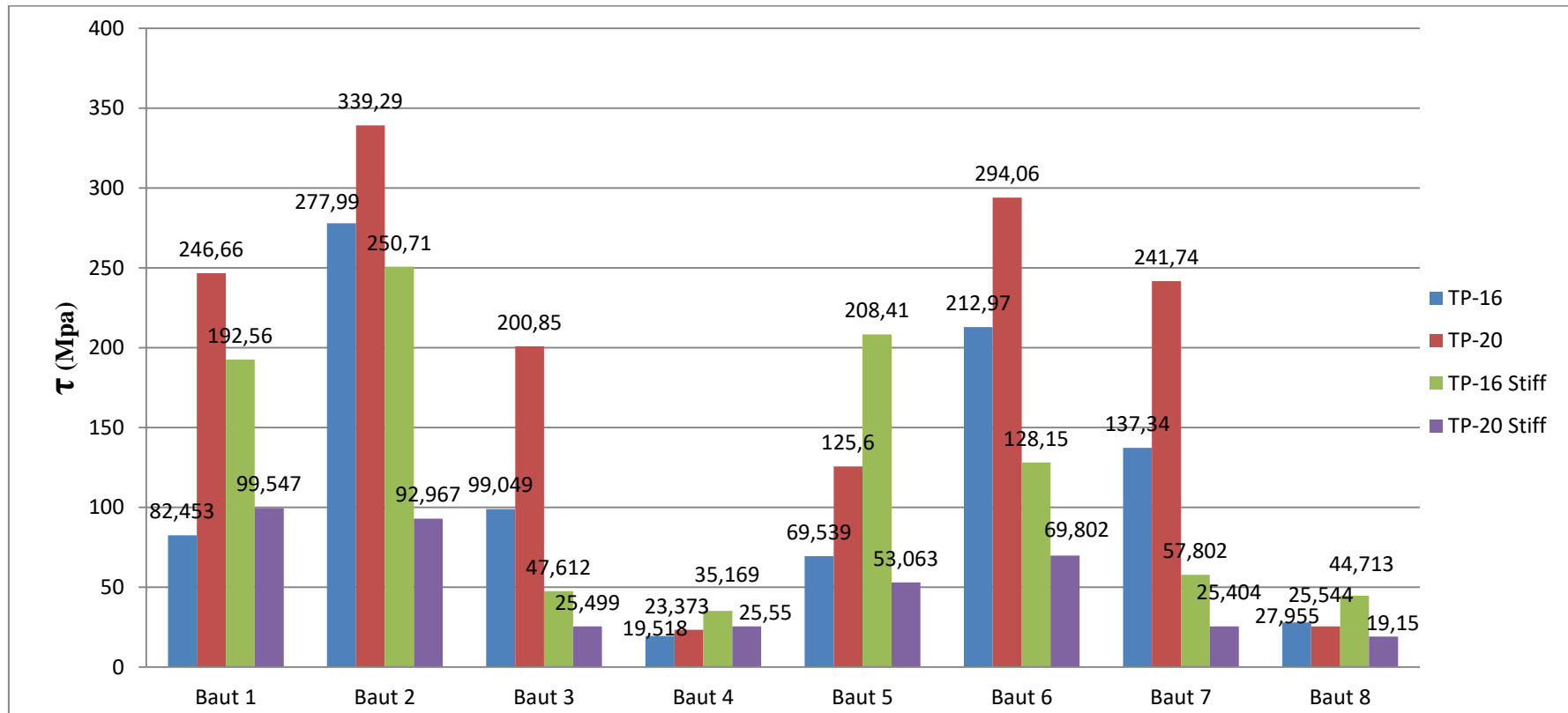
Gambar 4.66: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Model 2 Baut Disusun Zig-Zag

Dari gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah Tp 16 dengan *stiffners* dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* nilai sebesar 1090,3 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 323,25 Mpa
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 511,77 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 343,71 Mpa
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 264,23 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 190,33 Mpa
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 268,46 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 112,41 Mpa
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 612,17 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 392,13 MPa
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 677,99 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 426,84 Mpa
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 239,32 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 184,13 Mpa
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 170,85 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 90,659 Mpa.

#### 4.6.4 Tegangan Geser Model 3 Baut Disusun Sejajar Diatas

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model 3 baut disusun sejajar diatas



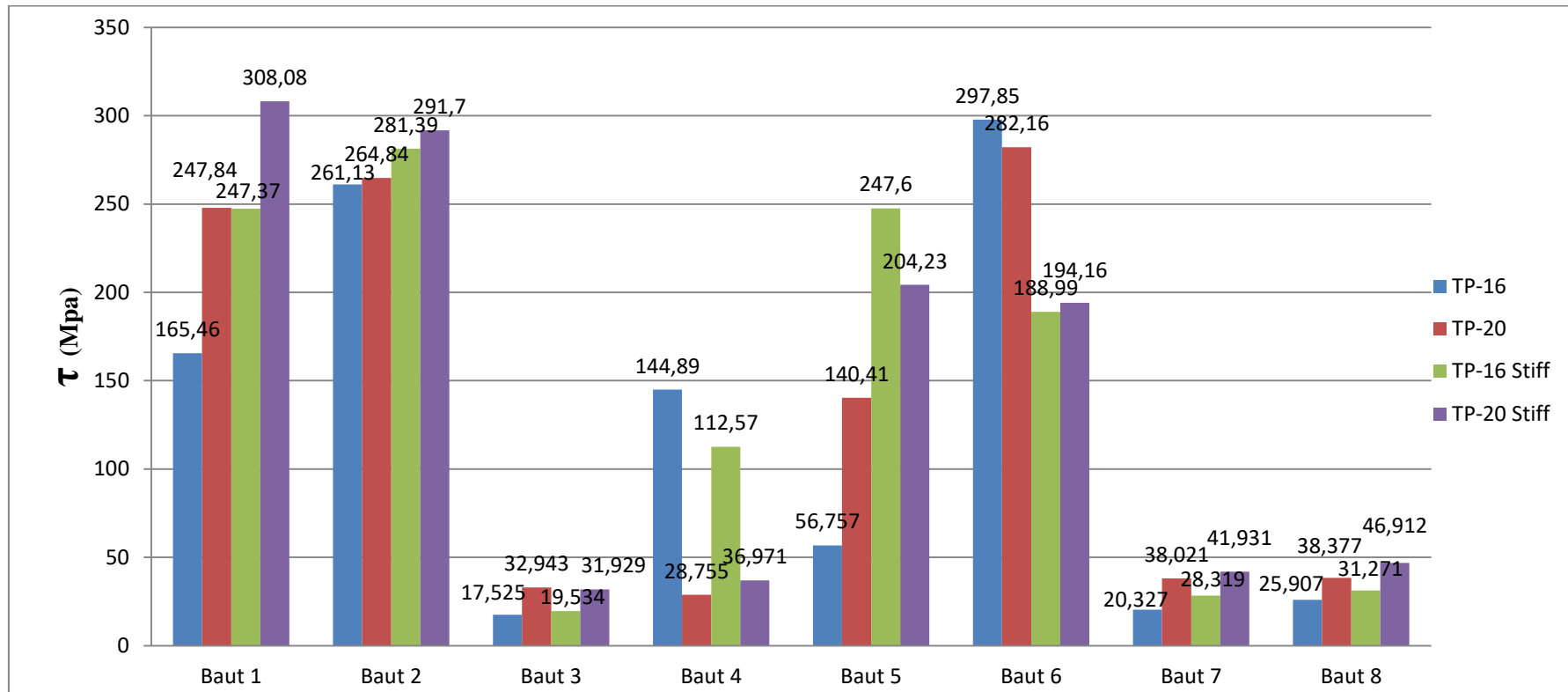
Gambar 4.67: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Model 3 Baut disusun diatas

Dari gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah Tp 20 dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 246,66 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 82,453 Mpa
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada TP 20 dengan nilai sebesar 339,29 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 92,967 Mpa
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 200,85 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 25,499 Mpa
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 35,169 sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 19,518 Mpa
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 208,41 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada model Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 53,063 Mpa
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 294,06 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 69,802 Mpa
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 241,74 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 25,404 Mpa
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 44,713 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 19,15 Mpa

#### 4.6.5 Tegangan Geser Model 4 Baut Disusun Sejajar Diatas Dan Bawah

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model 4 baut disusun diatas dan bawah



Gambar 4.68: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Model 4 Baut disusun diatas dan bawah

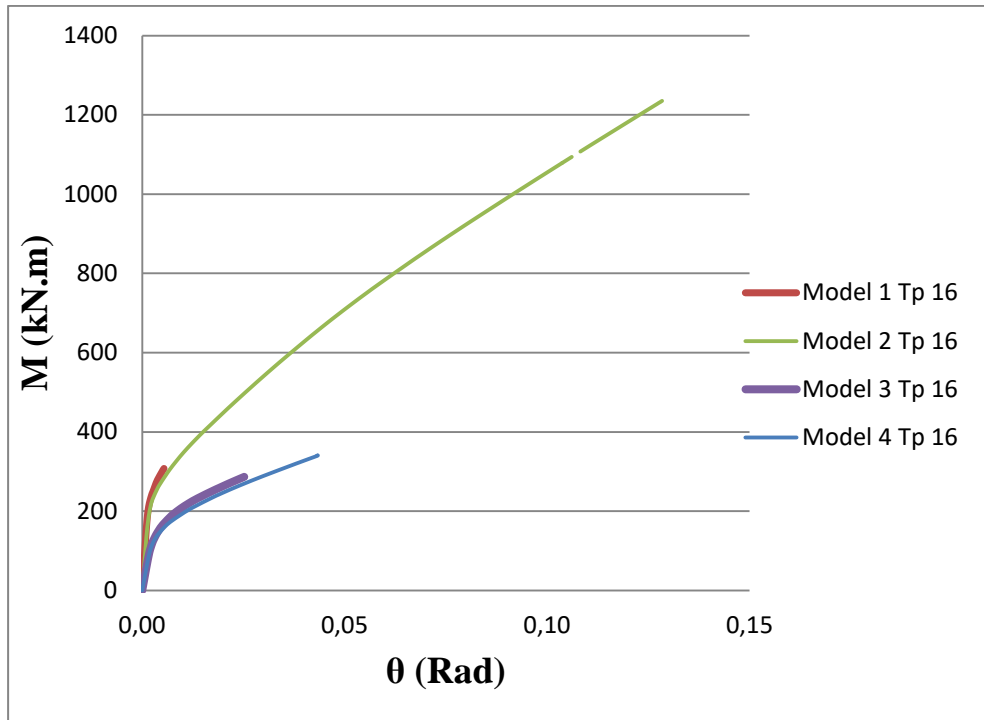
Dari gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah Tp 20 dengan *stiffners* dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 308,08 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 165,46 Mpa
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 291,7 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi Tp 16 dengan nilai sebesar 261,13 Mpa
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan nilai sebesar 32,943 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 31,929 Mpa
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 144,89 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 28,755 Mpa
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 247,6 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 56,757 Mpa.
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 297,85 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan *stiffners* sebesar 188,99 Mpa
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 41,931 Mpa sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 dengan nilai sebesar 46,912 Mpa
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada Tp 20 dengan *stiffners* sebesar 192,35 sedangkan untuk terkecil terjadi pada Tp 16 sebesar 19,15 Mpa

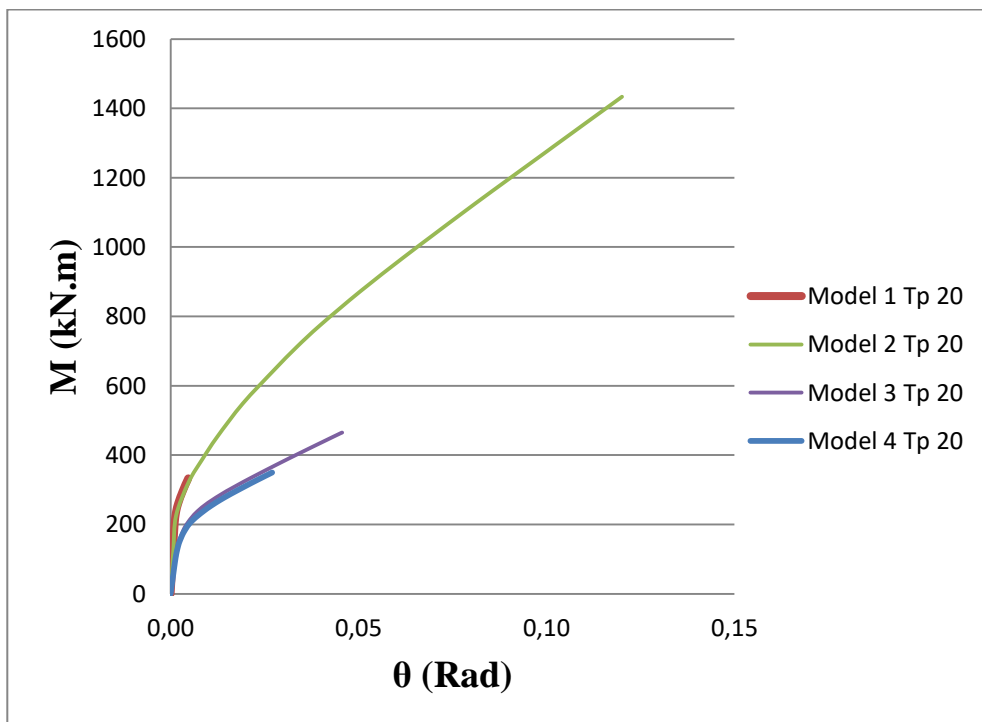
#### **4.7 Momen–Rotasi Pada Sambungan *End-Plate* Berdasarkan Tebal**

Dibawah ini merupakan momen-rotasi yang terjadi pada tiap model sambungan *end-plate* berdasarkan tebal dan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

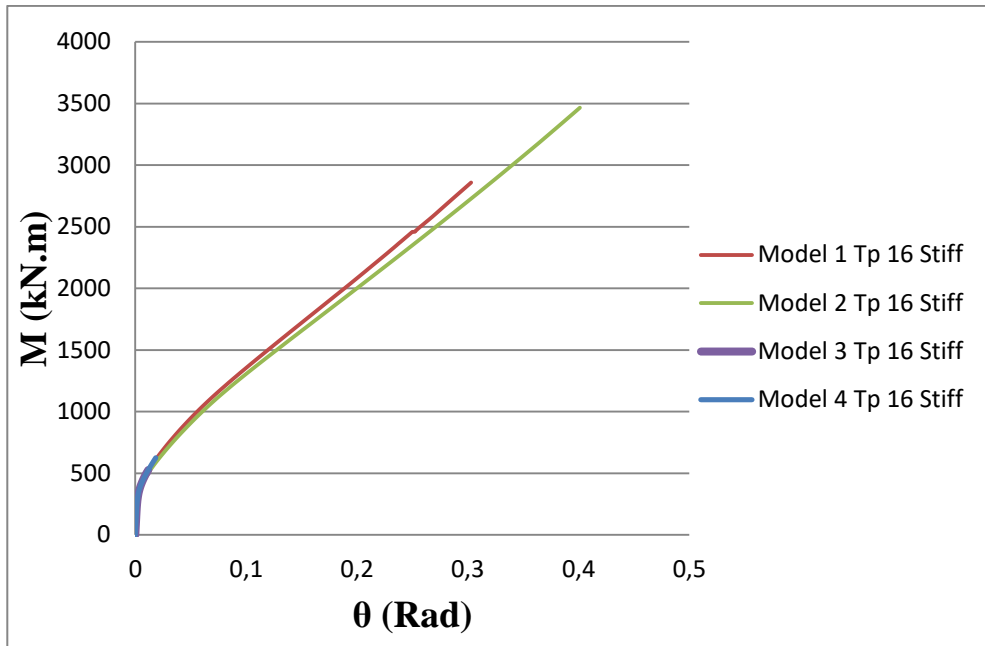




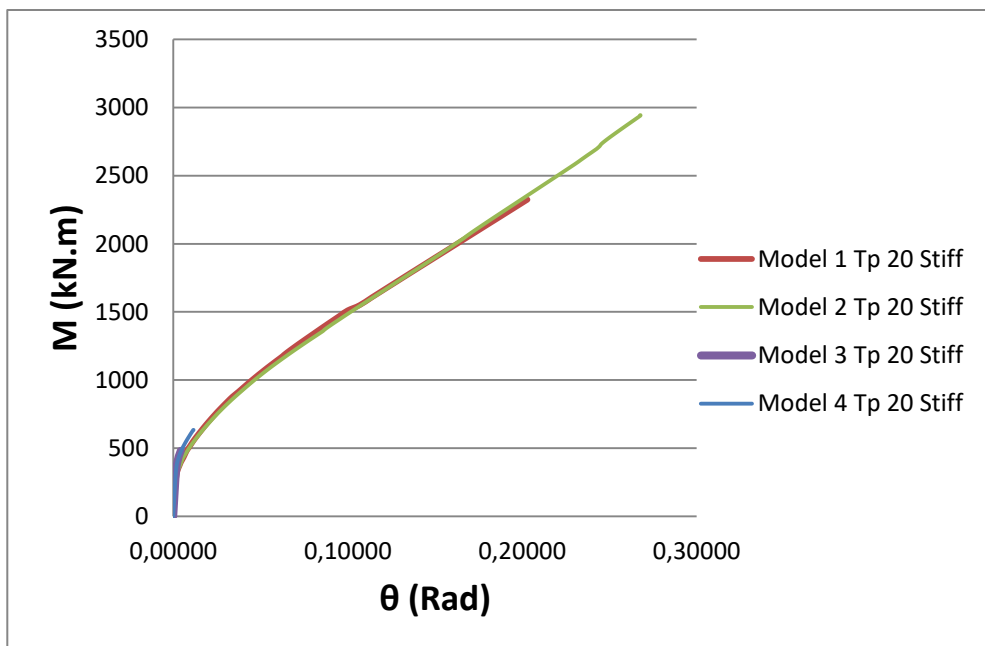
Gambar 4.69: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* tanpa *stiffeners* TP 16



Gambar 4.70: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* tanpa *stiffeners* TP 20

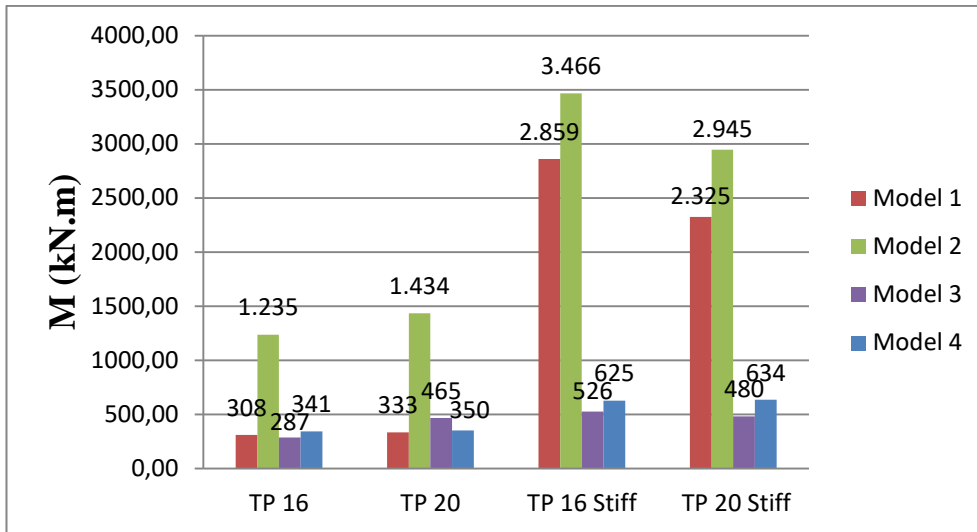


Gambar 4.71: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* Tp 16 dengan *stiffners*



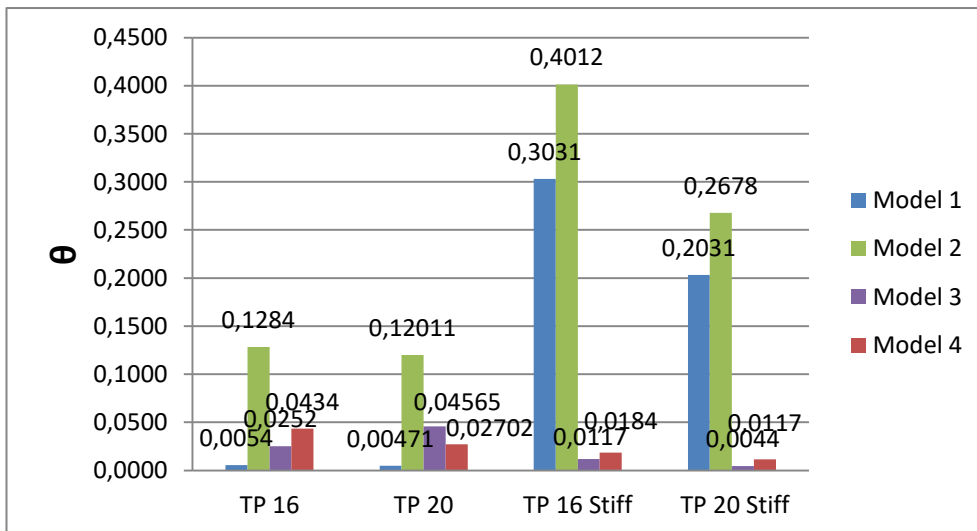
Gambar 4.72: Momen-Rotasi pada sambungan *end-plate* Tp 20 dengan *stiffners*

Dari ke-4 (empat) grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pengaruh tata letak sangat mempengaruhi besarnya momen dan rotasi yang mampu ditahan oleh sambungannya. Untuk lebih terperinci dapat dilihat perbandingan pada *bar-chart* dibawah ini :



Gambar 4.73: Momen pada sambungan *end-plate*

Dari diagram pada gambar 4.73 dapat dibandingkan bahwa untuk momen terbesar dapat dilihat pada model 2 berwarna hijau yaitu Tp 16 *stiffner* dengan nilai mencapai 3.466,0635 kN.m sedangkan momen terkecilnya pada Tp 16 sebesar 1.235,2301 kN.m.



Gambar 4.74: Rotasi pada sambungan *end-plate*

Pada diagram pada gambar ketahanan rotasi terbesar terjadi pada model 2 berwarna hijau di Tp 16 *stiffner* dengan nilai mencapai 0,4012 rad sedangkan rotasi terkecil pada model 2 Tp 20 sebesar 0,12011 rad.

#### 4.8 Klasifikasi Sambungan *End-Plate*

Tabel 4.13 Klasifikasi sambungan *end-plate* Tp 16

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		Klasifikasi
	kN.m	Rad		Pinned	Rigid	
Model 1	127,126	0,00082	155808,562	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 2	118,8125	0,000900	132012,069	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 3	54,886	0,00097	56560,405	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 4	54,079	0,00097	55599,005	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>

Pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kekakuan suatu sambungan ditentukan oleh momen yang besar dan rotasi yang kecil. sebaliknya, jika kekakuan kecil. dari data diatas juga diketahui bahwa model 1 kekakuan terbesar sedangkan yang terkecil pada model 4. Jika dipersentasekan nilai kekakuannya model 2 terhadap model 1 sebesar 84,73 %, sedangkan untuk kekakuan model 3 terhadap model 1 sebesar 36,30 % dan untuk model 4 terhadap model 1 sebesar 35,68 %.

Tabel 4.14 Klasifikasi sambungan *end-plate* Tp 20

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		Klasifikasi
	kN.m	Rad		Pinned	Pinned	
Model 1	174,344	0,000912	191264,153	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 2	226,002	0,001470	153756,042	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 3	193,716	0,003872	50025,364	59030,911	590309,112	<i>Pinned</i>
Model 4	139,233	0,002035	68411,039	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>

Pada tabel diatas diketahui bahwa model 1 kekakuan terbesar sedangkan yang terkecil pada model 3. Jika dipersentasekan nilai kekakuannya model 2 terhadap model 1 sebesar 80,39 %, sedangkan untuk kekakuan model 3 terhadap model 1 sebesar 25,15 % dan untuk model 4 terhadap model 1 sebesar 35,76 %.

Tabel 4.15 Klasifikasi sambungan *end-plate* Tp 16 dengan *stiffners*

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		Klasifikasi
	kN.m	Rad		Pinned	Pinned	
Model 1	173,360	0,001	161969,255	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		Klasifikasi
	kN.m	Rad		Pinned	Pinned	
Model 2	146,562	0,001	154548,642	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 3	145,489	0,001	174219,853	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 4	169,502	0,001	182829,844	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>

Pada table diatas diketahui bahwa model 4 kekakuan terbesar sedangkan yang terkecil pada model 2. Jika dipersentasekan nilai kekakuannya model 1 terhadap model 4 sebesar 88,59 %, sedangkan untuk kekakuan model 2 terhadap model 4 sebesar 84,53 dan untuk model 3 terhadap model 4 sebesar 95,29 %.

Tabel 4.16 Klasifikasi sambungan *end-plate* Tp 20 dengan *stiffners*

Tipe	Momen	Rotasi ( $\theta$ )	K	K Batas		Klasifikasi
	kN.m	Rad		Pinned	Pinned	
Model 1	225,195	0,00122	184076,806	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 2	197,154	0,00111	178378,338	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 3	216,122	0,00098	219647,903	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>
Model 4	217,931	0,00097	225808,460	59030,911	590309,112	<i>Semi-Rigid</i>

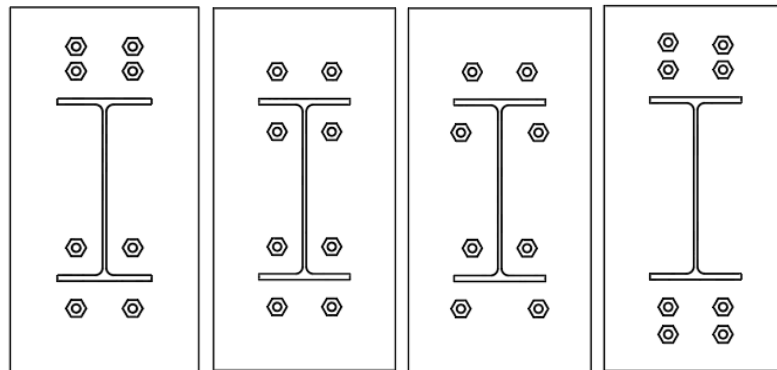
Pada table diatas diketahui bahwa model 4 kekakuan terbesar sedangkan yang terkecil pada model 2. Jika dipersentasekan nilai kekakuannya model 1 terhadap model 4 sebesar 81,52 %, sedangkan untuk kekakuan model 2 terhadap model 4 sebesar 79 % dan untuk model 4 terhadap model 92,27 %.

#### 4.9 Tegangan-Regangan

Pada umumnya kurva *engineering stress-strain* dipakai untuk perencanaan rekayasa. Kurva didapat melalui konversi data pengujian (P- $\Delta$ ) dengan data geometri (A dan L ) kondisi awal. Tegangan yang di analisis disesuaikan dengan batasan dari mutu baja. Untuk Batas nilai tegangan rata-rata ini diambil berdasarkan dari kemampuan *end-plate* dalam menahan momen-rotasi. Sehingga beban yang mampu bekerja berbeda-beda. Mutu baja yang digunakan dalam analisis sambungan *end-plate* ini ialah BJ-41 dengan kuat leleh (fy) sebesar 250 MPa, dan kuat ultimate (fu) sebesar 410 MPa.

#### 4.9.1 Model Tp 16 Tanpa *Stiffners*

Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang dianalisis dalam *software*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.9.1.1 sampai dengan gambar 4.9.1.8.



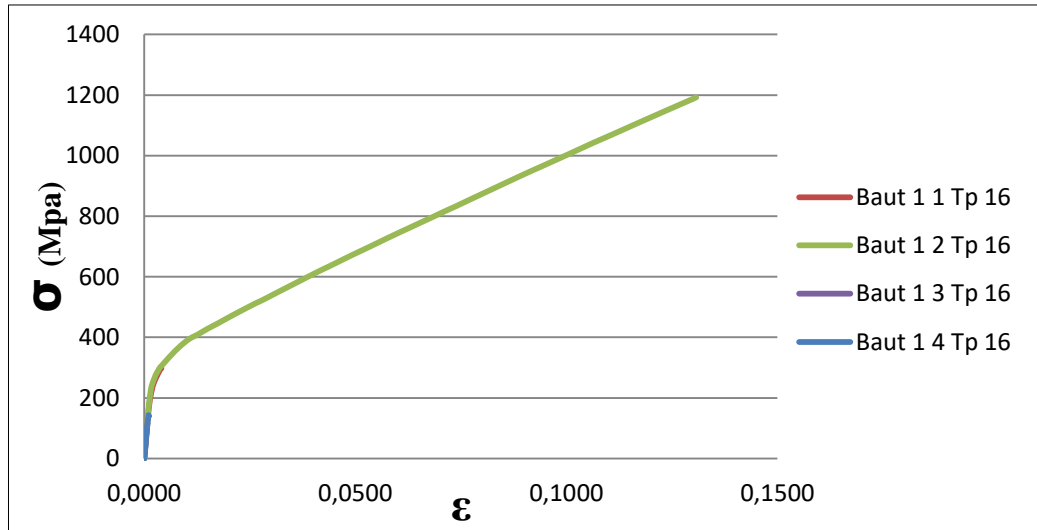
Gambar 4.75: Model tata letak baut 1, 2, 3 dan 4

##### 4.9.1.1 Tegangan-regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 135,33 MPa dan mengalami plastis dari 143,16 MPa hingga 298,24 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000856 pada saat plastis dan 0,00091 hingga 0,004068 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 195,3 MPa dan mengalami plastis dari 218,02 MPa hingga 1192,3 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00126 pada saat plastis dan 0,001475 hingga 0,13076 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 20,298 MPa dan mengalami plastis dari 25,12 MPa hingga 115,78 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000167 pada saat plastis dan 0,0002 hingga 0,000785 pada saat plastis.

- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 17,114 MPa dan mengalami plastis dari 19,58 MPa hingga 142,85 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000137 pada saat plastis dan 0,000153 hingga 0,001092 pada saat plastis.



Gambar 4.76: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 1

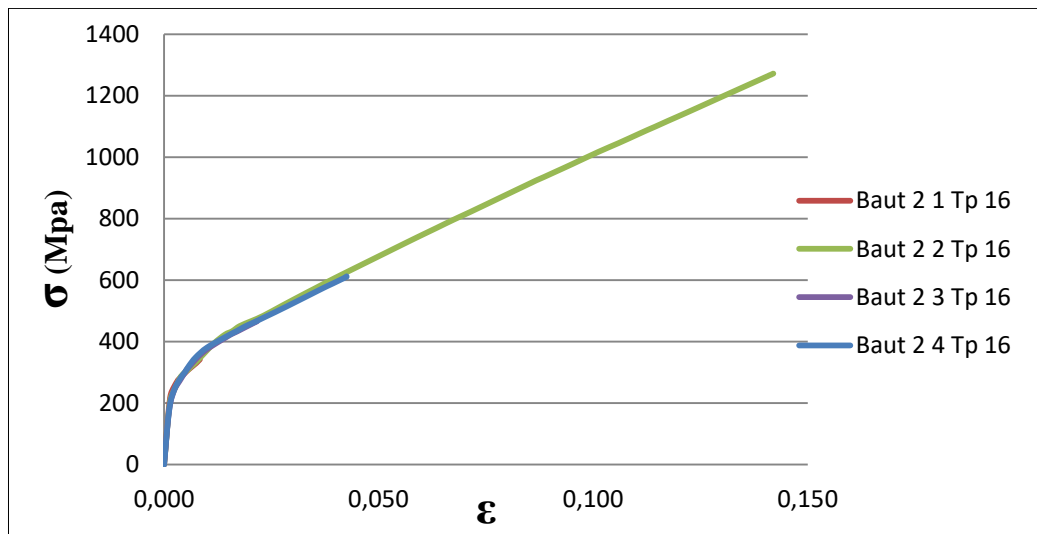
#### 4.9.1.2 Tegangan-regangan Pada Baut 2

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 199,48 MPa dan mengalami plastis dari 209,47 MPa hingga 342,44 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001248 pada saat plastis dan 0,001339 hingga 0,008345 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 216,78 MPa dan mengalami plastis dari 235,39 MPa hingga 1272,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001551 pada saat plastis dan 0,00209 hingga 0,142010 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 169,02 MPa dan mengalami plastis dari 188,52 MPa

hingga 465,97 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001109 pada saat elastis dan 0,001304 hingga 0,021671 pada saat plastis.

- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 203,74 MPa dan mengalami plastis dari 221,78 MPa hingga 612,69 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001485 pada saat elastis dan 0,001802 hingga 0,042559 pada saat plastis.



Gambar 4.77: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 2

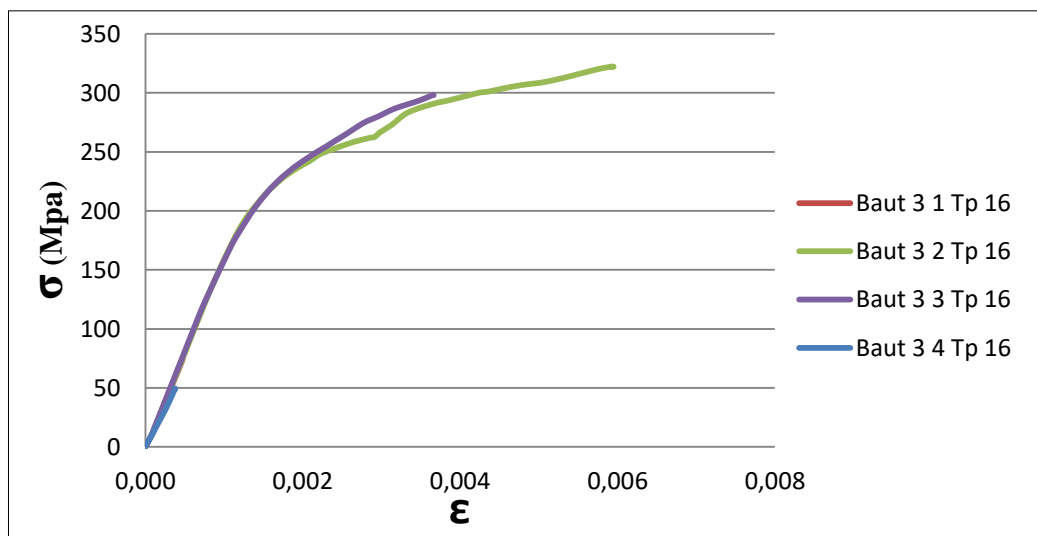
#### 4.9.1.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,176 MPa dan mengalami plastis dari 10,608 MPa hingga 75,963 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000083 pada saat elastis dan 0,000085 hingga 0,000474 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 187,37 MPa dan mengalami plastis dari 190,97 MPa hingga 322,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001218 pada saat elastis dan 0,001253 hingga 0,005952 pada saat plastis.



- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,16 MPa dan mengalami plastis dari 168,2 MPa hingga 298,01 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000757 pada saat plastis dan 0,001075 hingga 0,003644 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 34,341 MPa dan mengalami plastis dari 35,341 MPa hingga 49,537 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000275 pada saat plastis dan 0,000284 hingga 0,000378 pada saat plastis.



Gambar 4.78: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 3

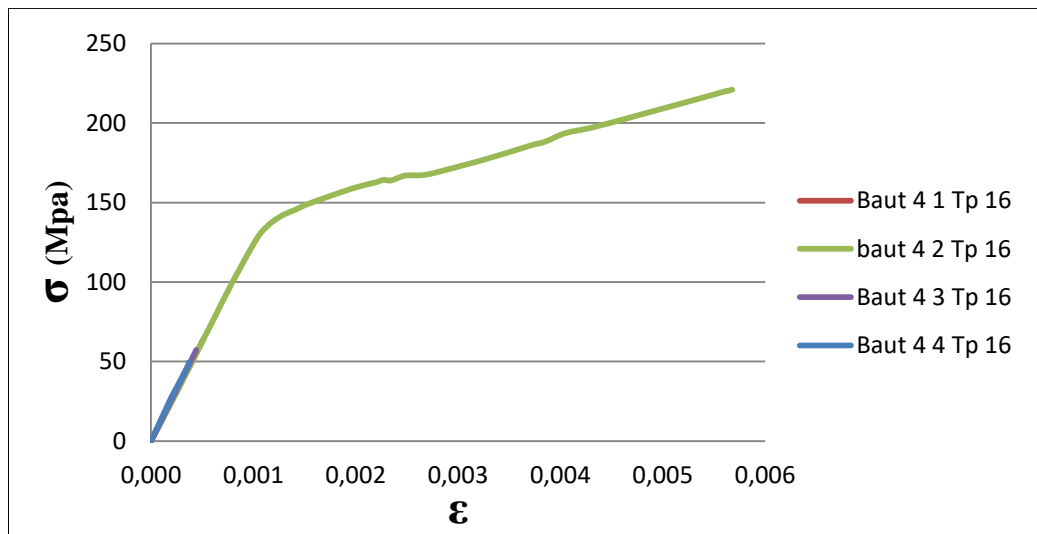
#### 4.9.1.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 1, 3, dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegagannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 63,347 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00051.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 126,5 MPa dan mengalami plastis dari 131,47 MPa

hingga 220,93 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00103 pada saat plastis dan 0,00108 hingga 0,00568 pada saat plastis.

- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 57,228 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00044.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 49,301 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00038 .



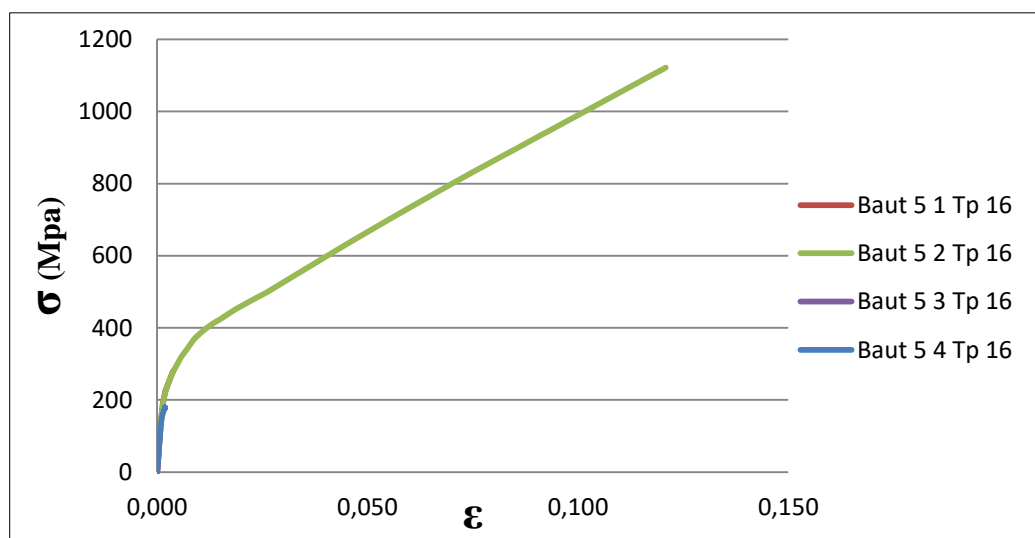
Gambar 4.79: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 4

#### 4.9.1.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 151,57 MPa dan mengalami plastis dari 158,28 MPa hingga 281,19 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000985 pada saat plastis dan 0,001041 hingga 0,003906 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 159,66 MPa dan mengalami plastis dari 176,25 MPa hingga 1121,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001064 pada saat plastis dan 0,001226 hingga 0,120860 pada saat plastis.

- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 16,747 MPa dan mengalami plastis dari 23,147 MPa hingga 118,63 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000131 pada saat elastis dan 0,000172 hingga 0,000780 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 17,15 MPa dan mengalami plastis dari 21,183 MPa hingga 178,95 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000139 pada saat elastis dan 0,000166 hingga 0,001865 pada saat plastis.



Gambar 4.80: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 5

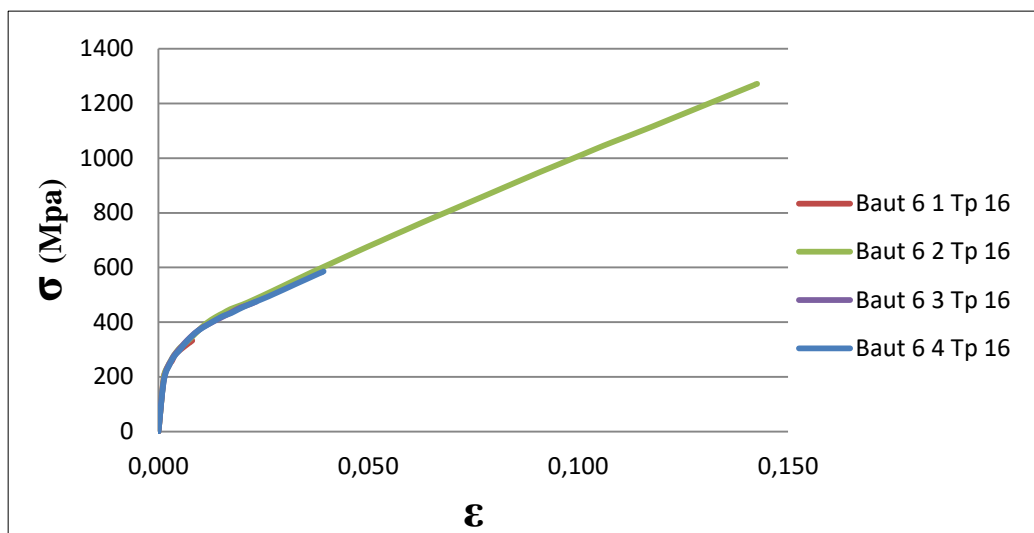
#### 4.9.1.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 197,51 MPa dan mengalami plastis dari 210,3 MPa hingga 322,57 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00126 pada saat elastis dan 0,001427 hingga 0,008054 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 168,61 MPa dan mengalami plastis dari 191 MPa hingga

1271,8 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001052 pada saat elastis dan 0,001229 hingga 0,1426 pada saat plastis.

- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 191,99 MPa dan mengalami plastis dari 475,23 MPa hingga 118,63 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001334 pada saat elastis dan 0,001747 hingga 0,023329 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 201,76 MPa dan mengalami plastis dari 218,85 MPa hingga 585,72 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001488 pada saat elastis dan 0,001821 hingga 0,039330 pada saat plastis.



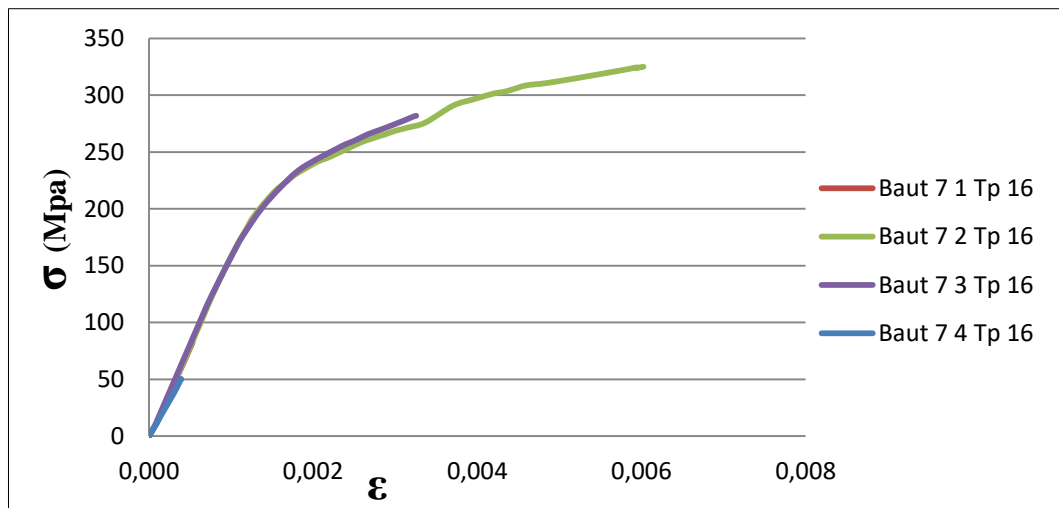
Gambar 4.81: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 6

#### 4.9.1.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,571 MPa dan mengalami plastis dari 11,425 MPa hingga 82,422 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00009 pada saat elastis dan 0,0001 hingga 0,00053 pada saat plastis.

- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 131,25 MPa dan mengalami plastis dari 136,85 MPa hingga 321,93 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00082 pada saat plastis dan 0,00086 hingga 0,00603 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,39 MPa dan mengalami plastis dari 167,44 MPa hingga 281,86 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00076 pada saat plastis dan 0,00107 hingga 0,00326 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 14,175 MPa dan mengalami plastis dari 14,736 MPa hingga 50,422 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00012 pada saat plastis dan 0,000125 hingga 0,00039 pada saat plastis.



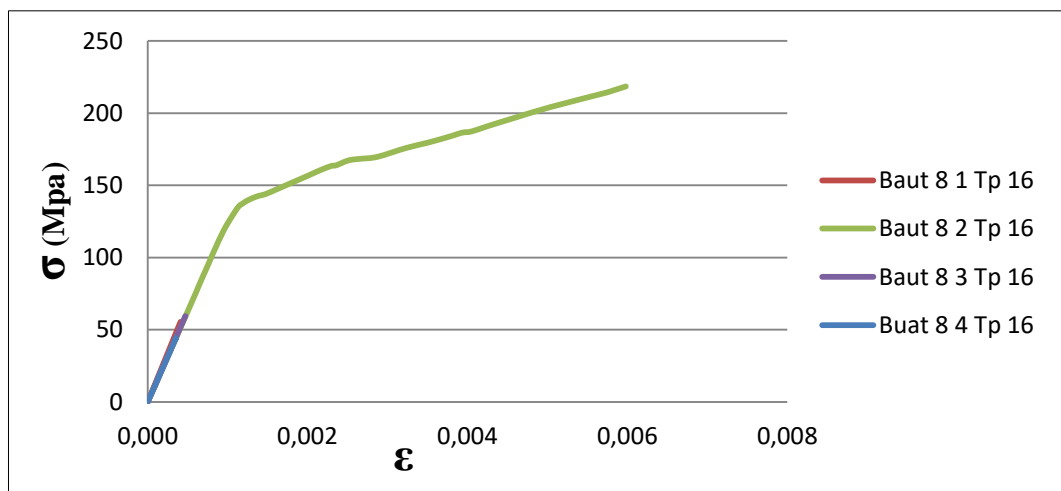
Gambar 4.82: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 7

#### 4.9.1.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar 4.78 dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 1, 3, dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegangannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 55,381 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00041.

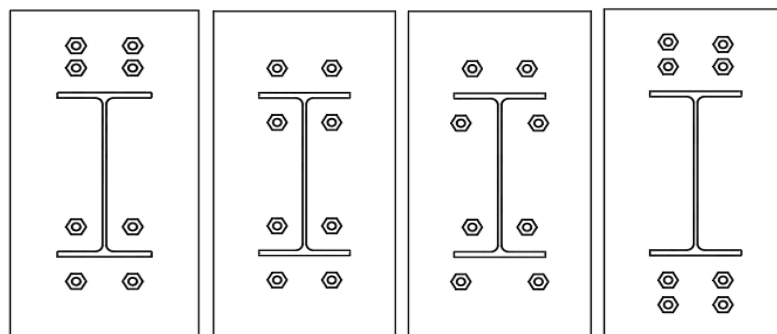
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 121,65 MPa dan mengalami plastis dari 131,03 MPa hingga 218,44 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00598 pada saat elastis dan 0,00108 hingga 0,00598 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 59,431 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00047.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 44,086 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00035.



Gambar 4.83: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 baut 8

#### 4.9.2 Tegangan-regangan Pada Model Tp 20

Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang dianalisis dalam *software*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.9.2.1 sampai dengan gambar 4.9.2.8.

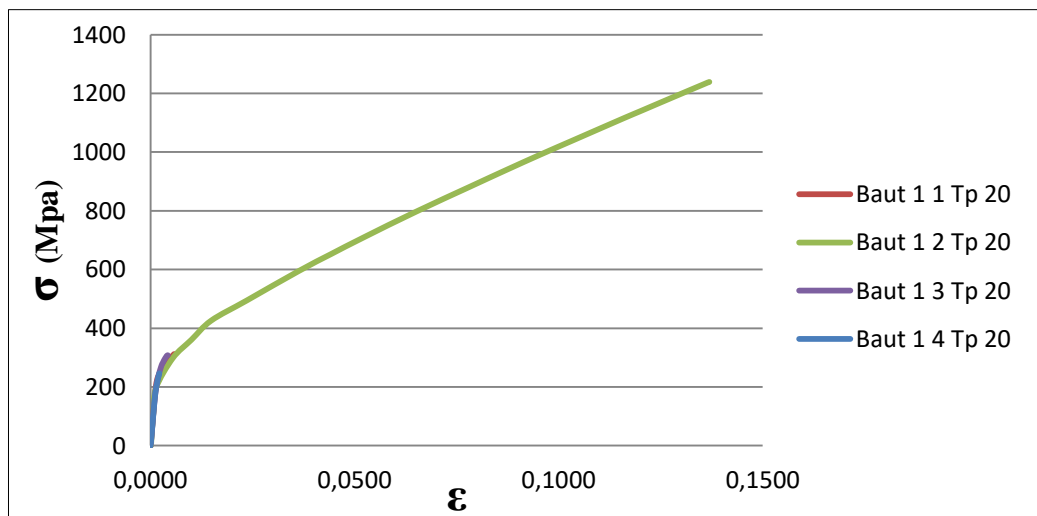


Gambar 4.84: Model tata letak baut 1, 2, 3 dan 4

#### 4.9.2.1 Tegangan-regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 198,84 MPa dan mengalami plastis dari 229,82 MPa hingga 311,95 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001118 pada saat plastis dan 0,001280 hingga 0,005788 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 115,85 MPa dan mengalami plastis dari 197,54 MPa hingga 1239 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000714 pada saat plastis dan 0,001354 hingga 0,136830 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 21,17 MPa dan mengalami plastis dari 22,315 MPa hingga 307,99 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000165 pada saat plastis dan 0,000173 hingga 0,0004232 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,336 MPa dan mengalami plastis dari 11,514 MPa hingga 246,35 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000083 pada saat plastis dan 0,000091 hingga 0,00261 pada saat plastis.

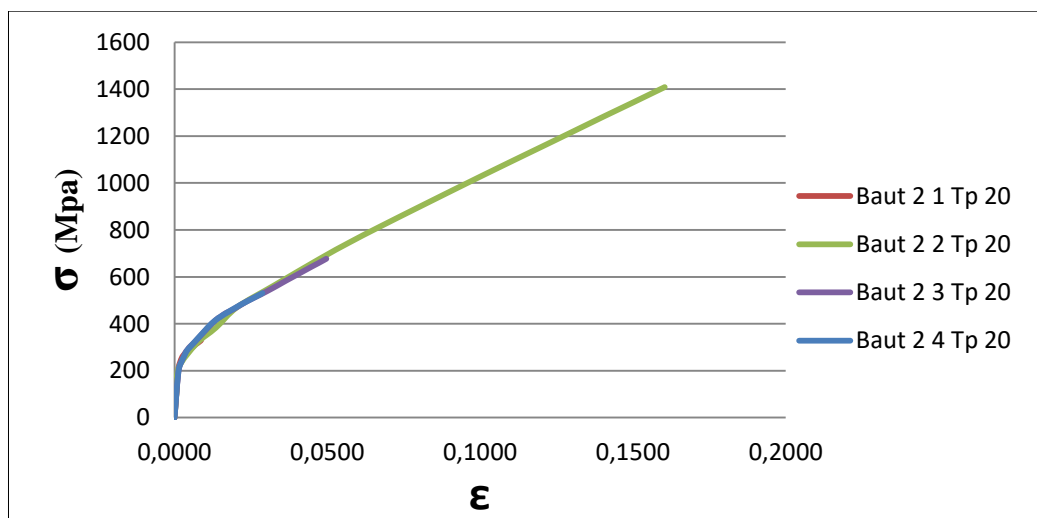


Gambar 4.85: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 1

#### 4.9.2.2 Tegangan-regangan Pada Baut 2

Pada Gambar 4.80 dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 212,82 MPa dan mengalami plastis dari 220,5 MPa hingga 329,01 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001313 pada saat plastis dan 0,001433 hingga 0,008674 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 120,92 MPa dan mengalami plastis dari 215,07 MPa hingga 1408,9 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000724 pada saat plastis dan 0,001421 hingga 0,160430 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 190,21 MPa dan mengalami plastis dari 204,32 MPa hingga 677,19 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001230 pada saat plastis dan 0,001387 hingga 0,0049688 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 187,59 MPa dan mengalami plastis dari 208,03 MPa hingga 530,76 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001220 pada saat plastis dan 0,001426 hingga 0,028769 pada saat plastis.



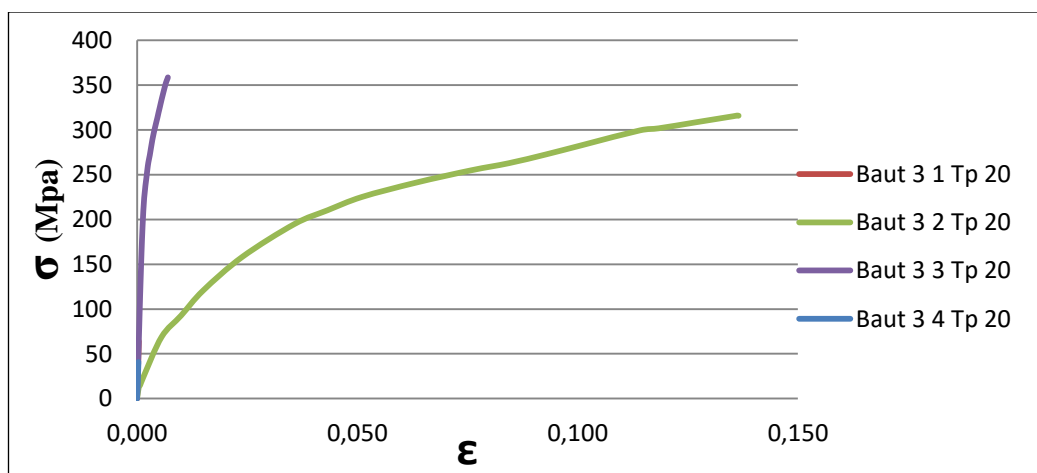
Gambar 4.86: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 2



#### 4.9.2.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 10,384 MPa dan mengalami plastis dari 10,567 MPa hingga 64,115 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000083 pada saat plastis dan 0,0000833 hingga 0,000403 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 12,276 MPa dan mengalami plastis dari 15,321 MPa hingga 315,9 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000383 pada saat plastis dan 0,000721 hingga 0,136530 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 163,85 MPa dan mengalami plastis dari 192,97 MPa hingga 358,67 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00102 pada saat plastis dan 0,001256 hingga 0,007 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,267 MPa dan mengalami plastis dari 11,525 MPa hingga 40,871 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000091 pada saat plastis dan 0,000093 hingga 0,00032 pada saat plastis.

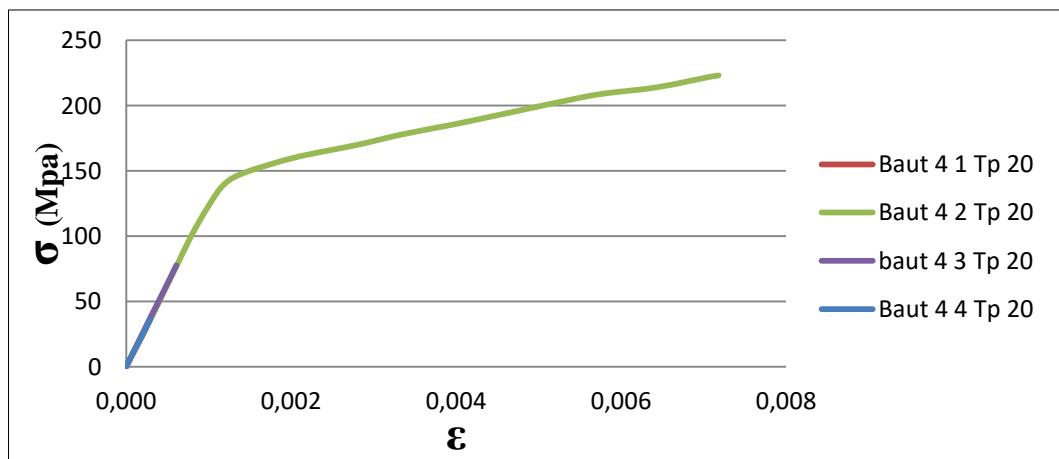


Gambar 4.87: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 3

#### 4.9.2.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 1, 3, dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegangannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 52,801 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00042.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,37 MPa dan mengalami plastis dari 139,97 MPa hingga 223,18 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0010 pada saat elastis dan 0,00119 hingga 0,00718 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 77,604 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00061.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 36,042 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00029 .

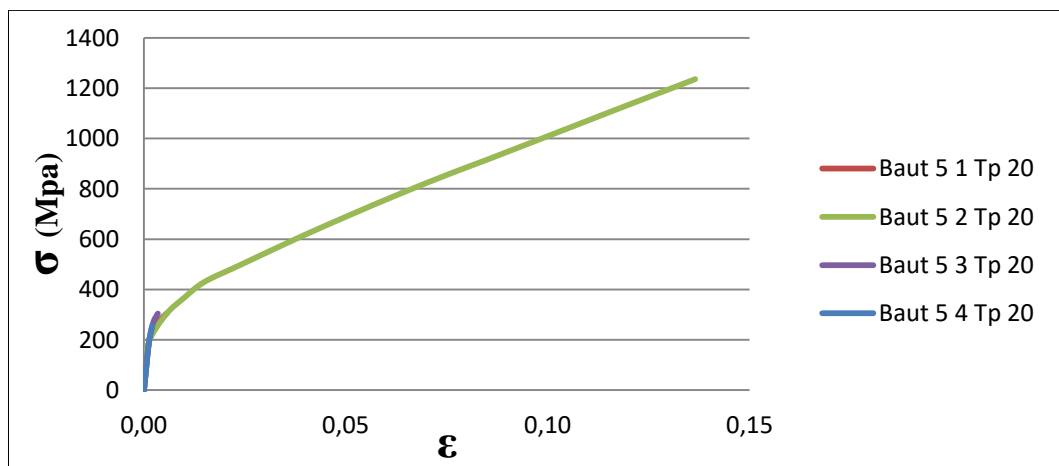


Gambar 4.88: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 4

#### 4.9.2.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 158,04 MPa dan mengalami plastis dari 165,8 MPa hingga 305,41 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000974 pada saat plastis dan 0,001031 hingga 0,005677 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 117,71 MPa dan mengalami plastis dari 199,49 MPa hingga 1235,8 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000721 pada saat plastis dan 0,001369 hingga 0,13653 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 140,53 MPa dan mengalami plastis dari 153,81 MPa hingga 304,45 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000882 pada saat plastis dan 0,000972 hingga 0,003447 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,852 MPa dan mengalami plastis dari 12,396 MPa hingga 254,65 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000091 pada saat plastis dan 0,000094 hingga 0,002062 pada saat plastis.

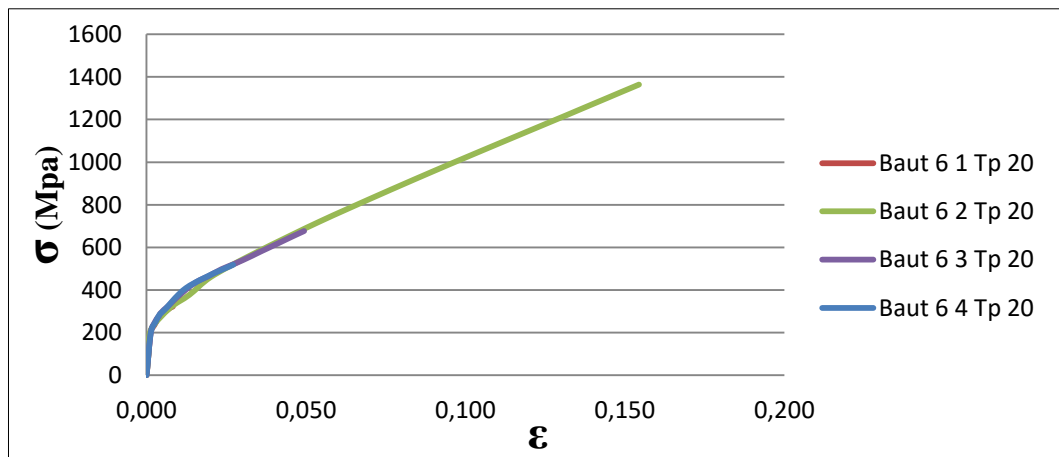


Gambar 4.89: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 5

#### 4.9.2.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 204,09 MPa dan mengalami plastis dari 210,81 MPa hingga 321,93 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001275 pada saat plastis dan 0,001398 hingga 0,008241 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 123,22 MPa dan mengalami plastis dari 215,82 MPa hingga 1364,2 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000743 pada saat plastis dan 0,001369 hingga 0,136530 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 175,07 MPa dan mengalami plastis dari 182,34 MPa hingga 676,68 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001092 pada saat plastis dan 0,001151 hingga 0,0049411 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 224,6 MPa dan mengalami plastis dari 223,42 MPa hingga 517,92 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001771 pada saat plastis dan 0,002102 hingga 0,0027155 pada saat plastis.

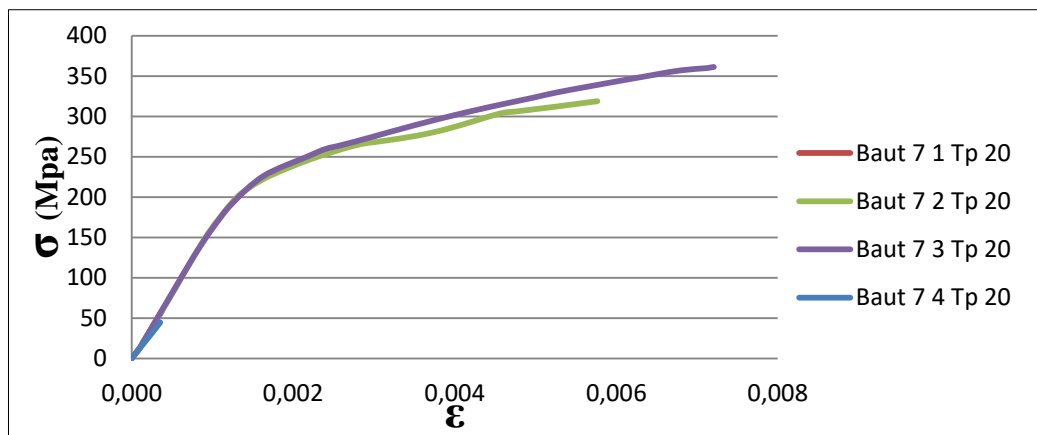


Gambar 4.90: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 6

#### 4.9.2.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Tetapi sebaliknya pada model 4.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,853 MPa dan mengalami plastis dari 12,109 MPa hingga 59,234 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00009 pada saat elastis dan 0,0001 hingga 0,00038 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 156,96 MPa dan mengalami plastis dari 195,5 MPa hingga 318,95 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00096 pada saat elastis dan 0,00126 hingga 0,00577 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 163,48 MPa dan mengalami plastis dari 192,22 MPa hingga 361,4 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00102 pada saat elastis dan 0,00125 hingga 0,00721 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 44,626 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00035 .



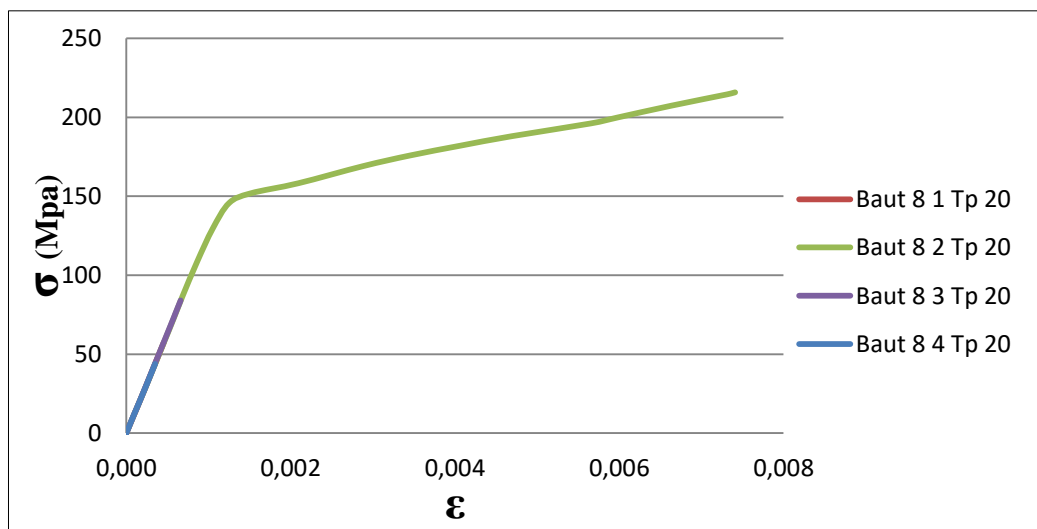
Gambar 4.91: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 7

#### 4.9.2.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 1, 3, dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegangannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 57,347 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00046.

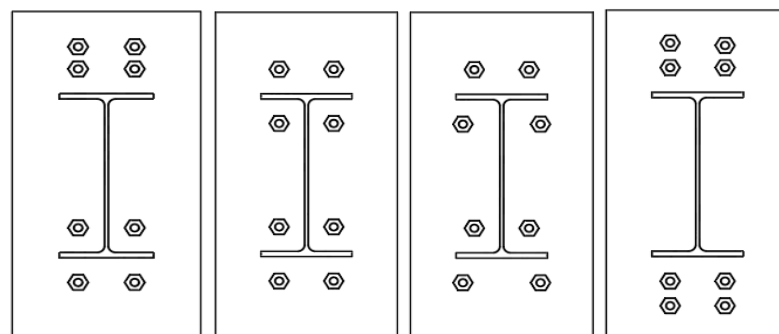
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 129,38 MPa dan mengalami plastis dari 145,7 MPa hingga 215,8 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00105 pada saat elastis dan 0,00125 hingga 0,00741 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 84,062 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00066
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 43,873 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00035.



Gambar 4.92: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 baut 8

#### 4.9.3 Tegangan-regangan Pada Model Tp 16 Dengan *Stiffners*

Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang dianalisis dalam *software*. Untuk lebih dijelas dapat dilihat pada gambar 4.9.3.1 sampai dengan gambar 4.9.3.8.

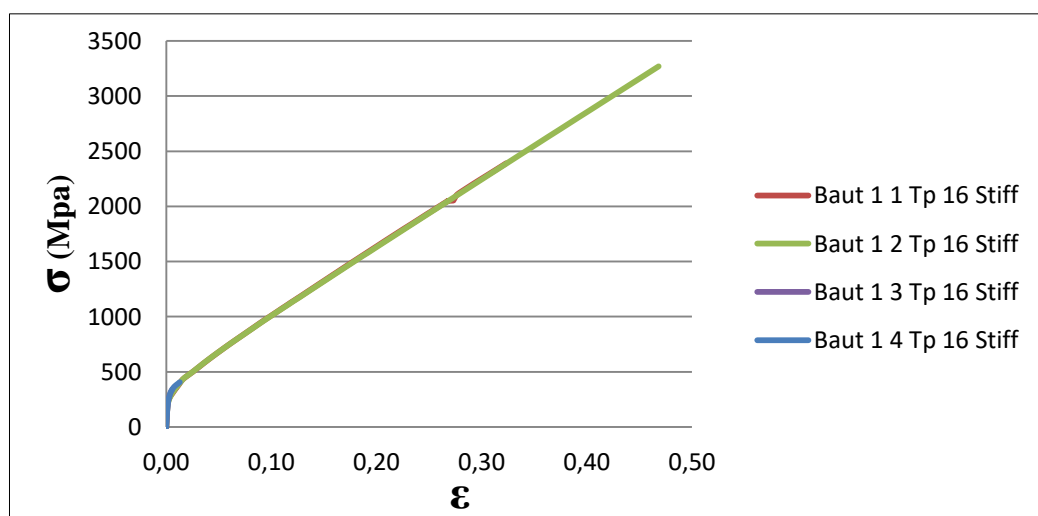


Gambar 4.93: Model tata letak baut 1, 2, 3 dan 4

#### 4.9.3.1 Tegangan-regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 200,8 MPa dan mengalami plastis dari 229,2 MPa hingga 2390,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00124 pada saat elastis dan 0,001620 hingga 0,3232 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 203,62 MPa dan mengalami plastis dari 215,71 MPa hingga 3269,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001356 pada saat elastis dan 0,001535 hingga 0,46827 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 132,78 MPa dan mengalami plastis dari 134,57 MPa hingga 340,11 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000824 pada saat elastis dan 0,000836 hingga 0,00571 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 181,25 MPa dan mengalami plastis dari 200,68 MPa hingga 406,19 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001214 pada saat elastis dan 0,001415 hingga 0,012902 pada saat plastis.

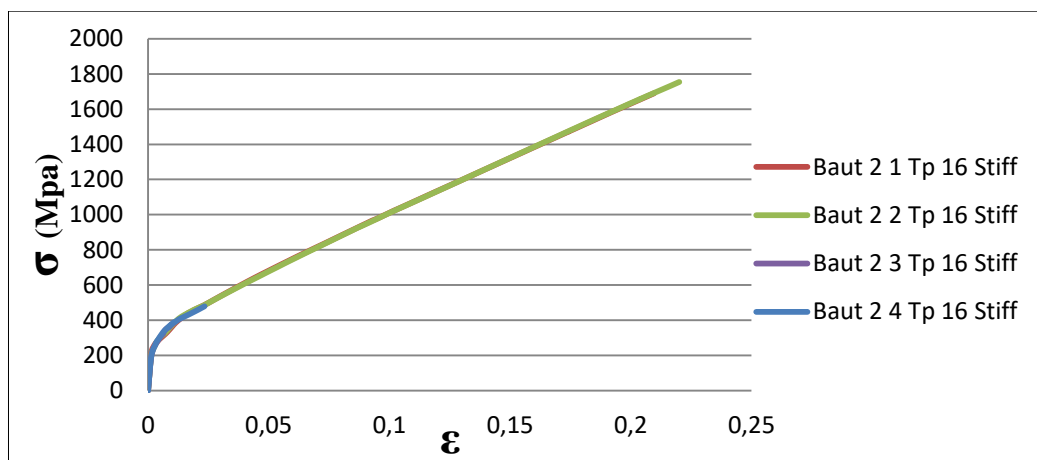


Gambar 4.94: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 1

#### 4.9.3.2 Tegangan-regangan Pada Baut 2

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 162,78 MPa dan mengalami plastis dari 202,5 MPa hingga 1690,2 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000978 pada saat plastis dan 0,001273 hingga 0,20962 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 133,84 MPa dan mengalami plastis dari 156,02 MPa hingga 1754,3 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000817 pada saat plastis dan 0,000968 hingga 0,220 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 164,76 MPa dan mengalami plastis dari 166,71 MPa hingga 387,33 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001048 pada saat plastis dan 0,001064 hingga 0,010981 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,66 MPa dan mengalami plastis dari 185,75 MPa hingga 478,99 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00119 pada saat plastis dan 0,001241 hingga 0,023386 pada saat plastis.



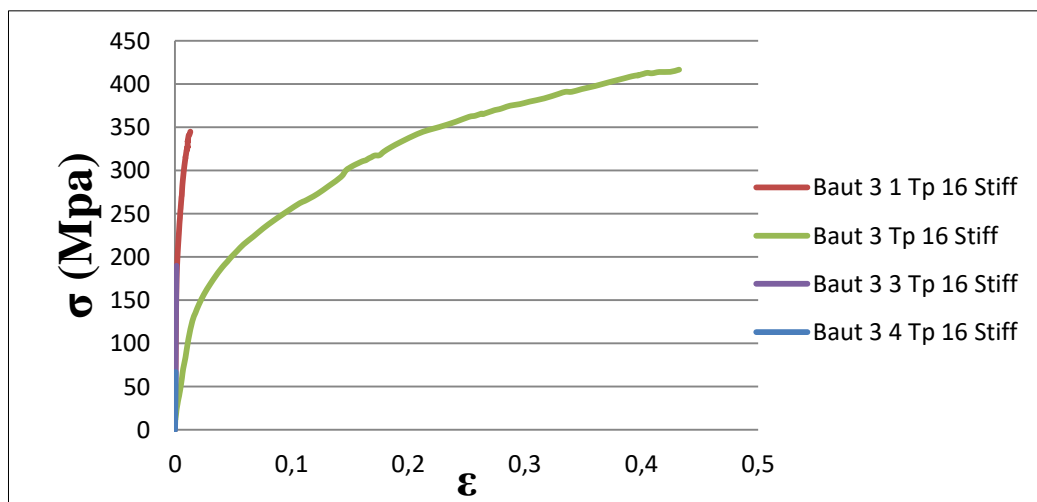
Gambar 4.95: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 2



### 4.9.3.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Tetapi sebaliknya pada model 4 yang diagramnya adalah linier.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 142,03 Mpa dan mengalami plastis dari 146,94 Mpa hingga 344,86 Mpa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000964 pada saat plastis dan 0,001006 hingga 0,013158 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 Mpa hingga 104,85 Mpa dan mengalami plastis dari 125,87 Mpa hingga 416,51 Mpa. Untuk regangannya 0 hingga 0,011479 pada saat plastis dan 0,014879 hingga 0,43223 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 Mpa hingga 9,525 Mpa dan mengalami plastis dari 11,054 Mpa hingga 189,78 Mpa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000075 pada saat plastis dan 0,000084 hingga 0,001254 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 Mpa hingga 66,925 Mpa dan untuk regangannya 0 hingga 0,000533.

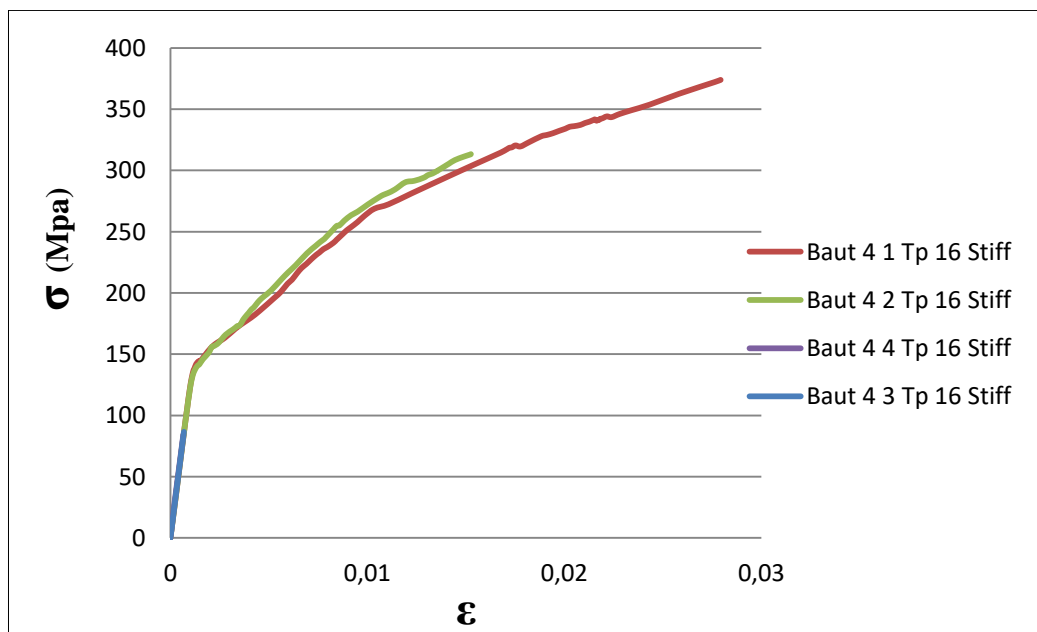


Gambar 4.96: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 3

#### 4.9.3.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 1 dan 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 3, dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegangannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

- A. Pada model 1 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 125,89 MPa dan mengalami plastis dari 129,45 MPa hingga 373,94 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00103 pada saat elastis dan 0,00107 hingga 0,02793 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 114,41 MPa dan mengalami plastis dari 117,26 MPa hingga 313,32 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00093 pada saat elastis dan 0,00095 hingga 0,01525 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 86,58 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00068
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 84,026 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00065

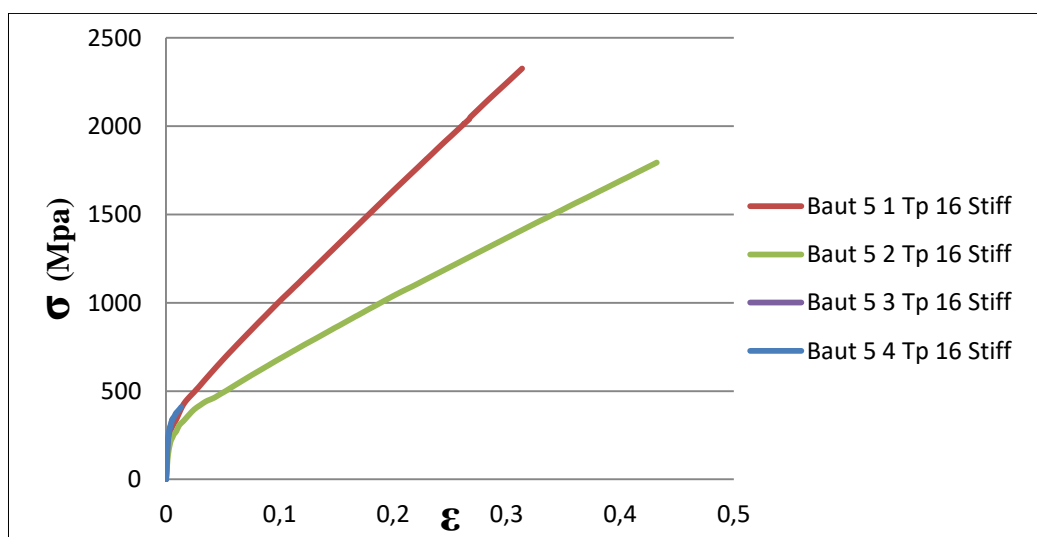


Gambar 4.97: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 4

#### 4.9.3.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 122,41 MPa dan mengalami plastis dari 143 MPa hingga 2326,5 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000747 pada saat elastis dan 0,000871 hingga 0,3136 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 78,047 MPa dan mengalami plastis dari 86,165 MPa hingga 1794,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000908 pada saat elastis dan 0,00102 hingga 0,43223 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 166,39 MPa dan mengalami plastis dari 186,87 MPa hingga 339,09 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001076 pada saat elastis dan 0,001271 hingga 0,005598 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 204,73 MPa dan mengalami plastis dari 211,21 MPa hingga 409,51 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001395 pada saat elastis dan 0,001467 hingga 0,013348 pada saat plastis.

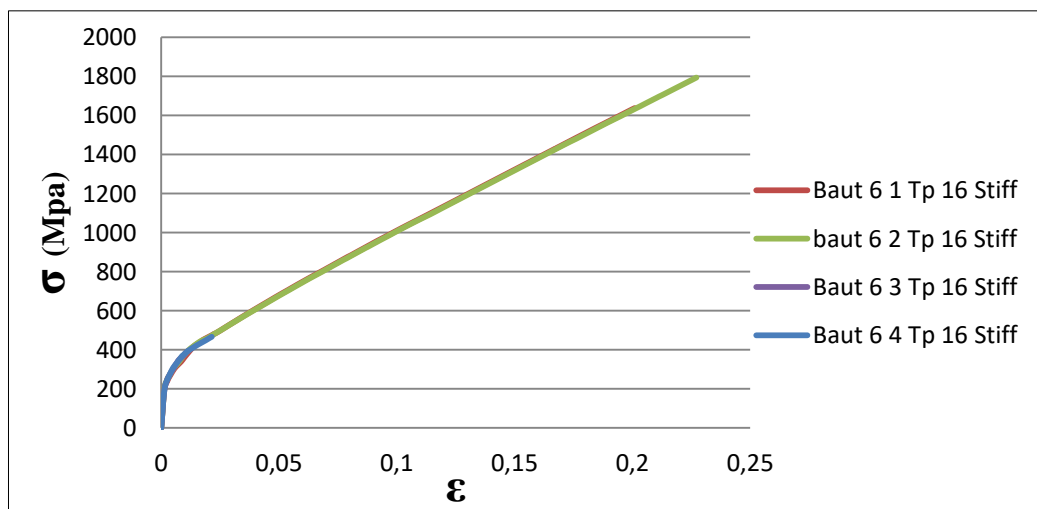


Gambar 4.98: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 5

#### 4.9.3.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 141,32 MPa dan mengalami plastis dari 146,11 MPa hingga 337,52 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00069 pada saat plastis dan 0,000788 hingga 0,201 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 136,04 MPa dan mengalami plastis dari 158,76 MPa hingga 1794,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000833 . pada saat plastis dan 0,00098 . hingga 0,22719 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 164,78 MPa dan mengalami plastis dari 166,6 MPa hingga 394,21 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001057 pada saat plastis dan 0,001071 hingga 0,011429 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 212,43 MPa dan mengalami plastis dari 409,51 MPa hingga 466,46 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001573 pada saat plastis dan 0,001903 hingga 0,021439 pada saat plastis.

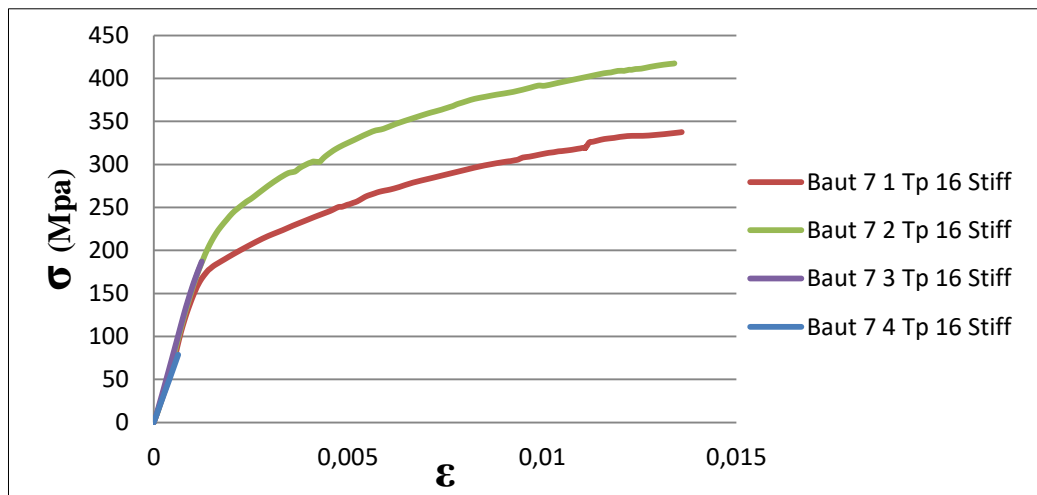


Gambar 4.99: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 6

#### 4.9.3.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 1 dan 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Tetapi sebaliknya pada model 3 dan 4.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 141,32 MPa dan mengalami plastis dari 146,11 MPa hingga 337,52 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00096 pada saat plastis dan 0,001 hingga 0,01359 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 186,11 MPa dan mengalami plastis dari 190,24 MPa hingga 417,45 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00124 pada saat plastis dan 0,00128 hingga 0,01341 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 187,13 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00124
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 78,77 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00063



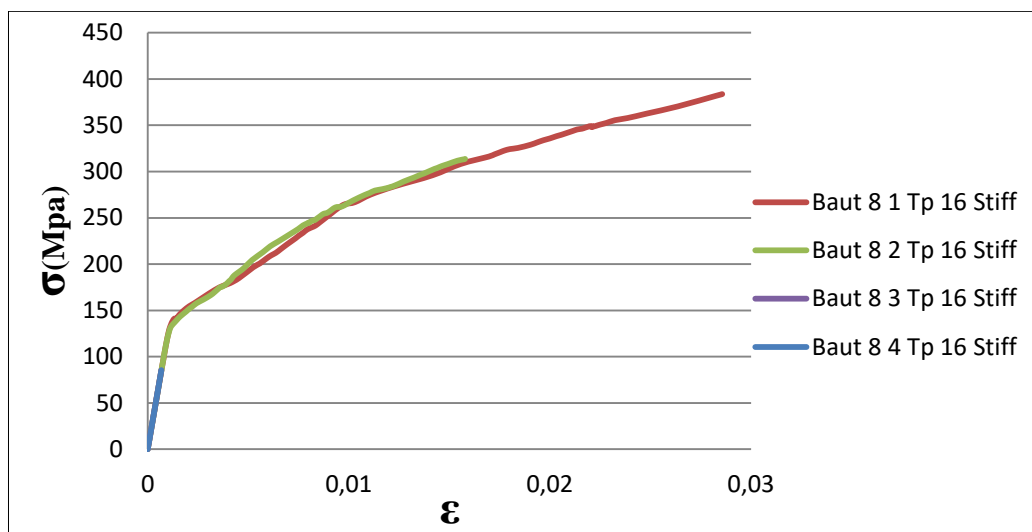
Gambar 4.100: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 7

#### 4.9.3.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 1 dan 2, dimana regangan

tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 3, dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegangannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

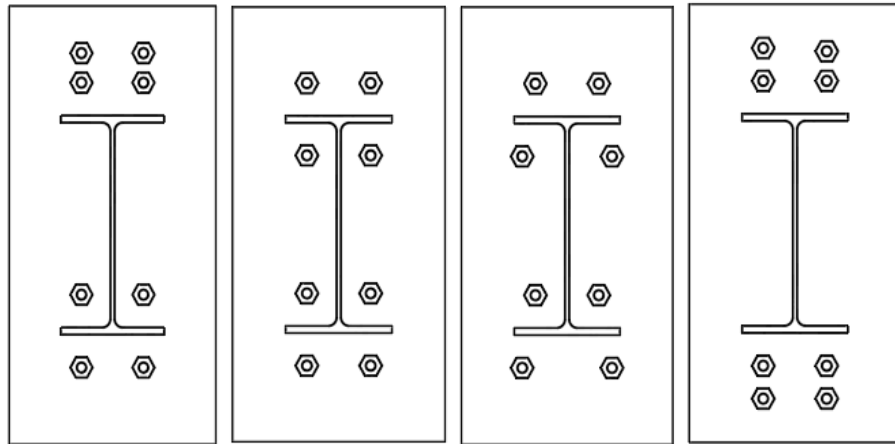
- A. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 120 MPa dan mengalami plastis dari 127,38 MPa hingga 383,64 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00097 pada saat elastis dan 0,00105 hingga 0,02857 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 121,58 MPa dan mengalami plastis dari 125,73 MPa hingga 313,67 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00099 pada saat elastis dan 0,00105 hingga 0,01578 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 85,051 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00067
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 85,441 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00068.



Gambar 4.101: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 16 *stiffner* baut 8

#### 4.9.4 Tegangan-regangan Pada Model Tp 20 Dengan *Stiffners*

Pada gambar dibawah ini merupakan model perletakan baut yang dianalisis dalam *software*. Untuk lebih dijelas dapat dilihat pada gambar 4.9.4.1 sampai dengan gambar 4.9.4.8.

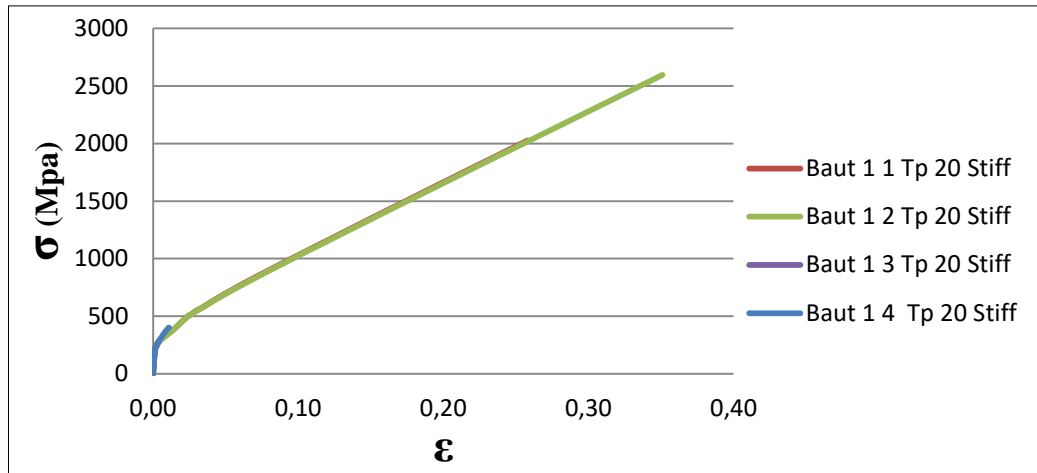


Gambar 4.102: Model tata letak baut 1, 2, 3 dan 4

#### 4.9.4.1 Tegangan-regangan Pada Baut 1

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 197,6 MPa dan mengalami plastis dari 218,6 MPa hingga 2027,4 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001175 pada saat plastis dan 0,001357 hingga 0,25813 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 176,17 MPa dan mengalami plastis dari 213,2 MPa hingga 2596,5 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001069 pada saat plastis dan 0,001451 . hingga 0,35099 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 142,3 MPa dan mengalami plastis dari 150,28 MPa hingga 280,68 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000857 pada saat plastis dan 0,000908 hingga 0,003954 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 211,5 MPa dan mengalami plastis dari 224,43 MPa hingga 401,34 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001425 pada saat plastis dan 0,001681 hingga 0,010998 pada saat plastis.



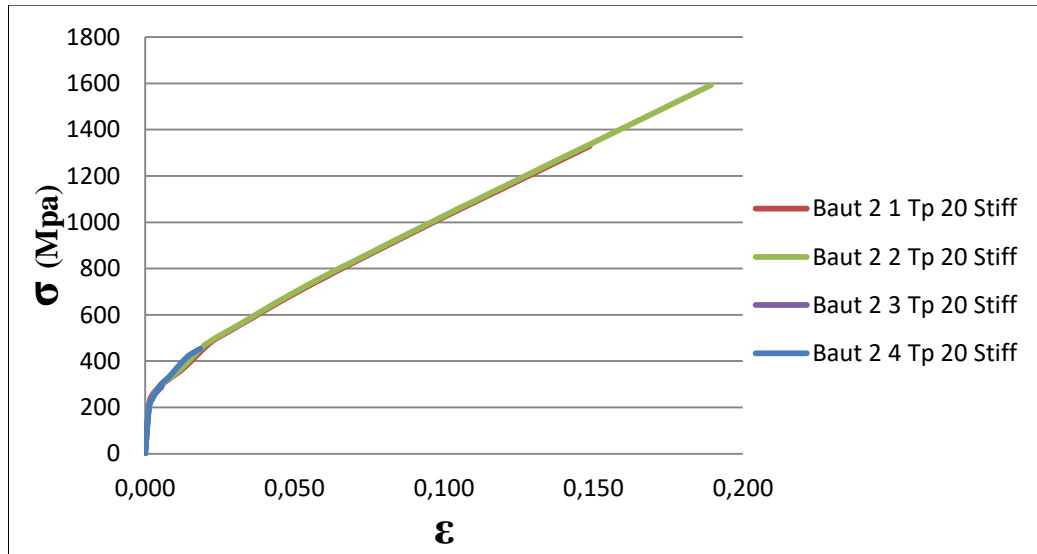
Gambar 4.103: Tegangan-regangan sambungan *end-plate* Tp 20 *stiffner* baut 1

#### 4.9.4.2 Tegangan-regangan Pada Baut 2

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 219,66 MPa dan mengalami plastis dari 235,33 MPa hingga 1329,4 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001405 pada saat plastis dan 0,001693 hingga 0,14874 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 121,52 MPa dan mengalami plastis dari 141,8 MPa hingga 1592,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000732 pada saat plastis dan 0,000851 hingga 0,1893 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,89 MPa dan mengalami plastis dari 181,41 MPa hingga 295,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001061 pada saat plastis dan 0,001129 hingga 0,005634 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 188,73 MPa dan mengalami plastis dari 200,96 MPa hingga 453,85 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001201 pada saat plastis dan 0,001322 hingga 0,018447 pada saat plastis.





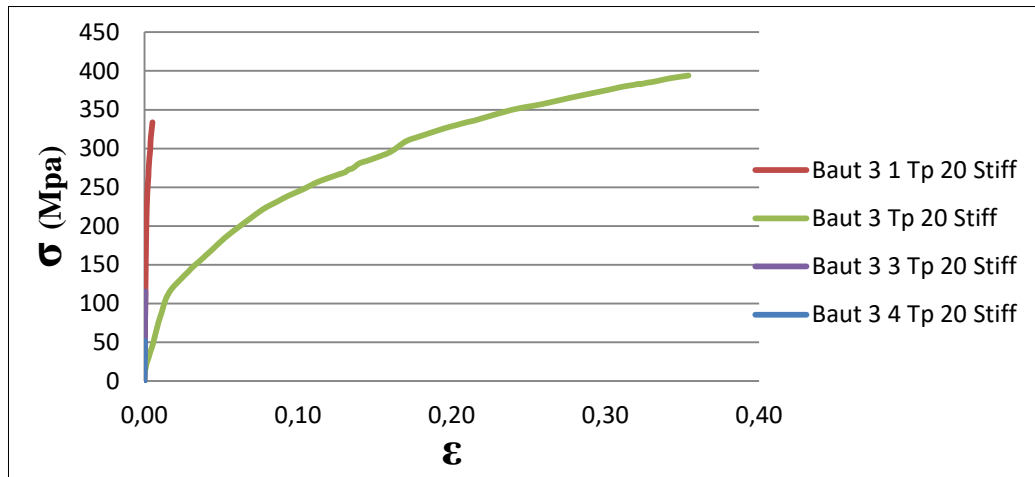
Gambar 4.104: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 stiffener baut 2

#### 4.9.4.3 Tegangan-regangan Pada Baut 3

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya, sebaliknya pada model 3.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 192,61 MPa dan mengalami plastis dari 200,95 MPa hingga 333,79 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001219 pada saat plastis dan 0,001295 hingga 0,005294 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 77,936 MPa dan mengalami plastis dari 89,876 MPa hingga 394,15 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0095 pada saat plastis dan 0,011498 hingga 0,35411 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,254 MPa dan mengalami plastis dari 12,18 MPa hingga 115,65 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000088 pada saat plastis dan 0,000093 hingga 0,000709 pada saat plastis.

- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 51,913 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00041

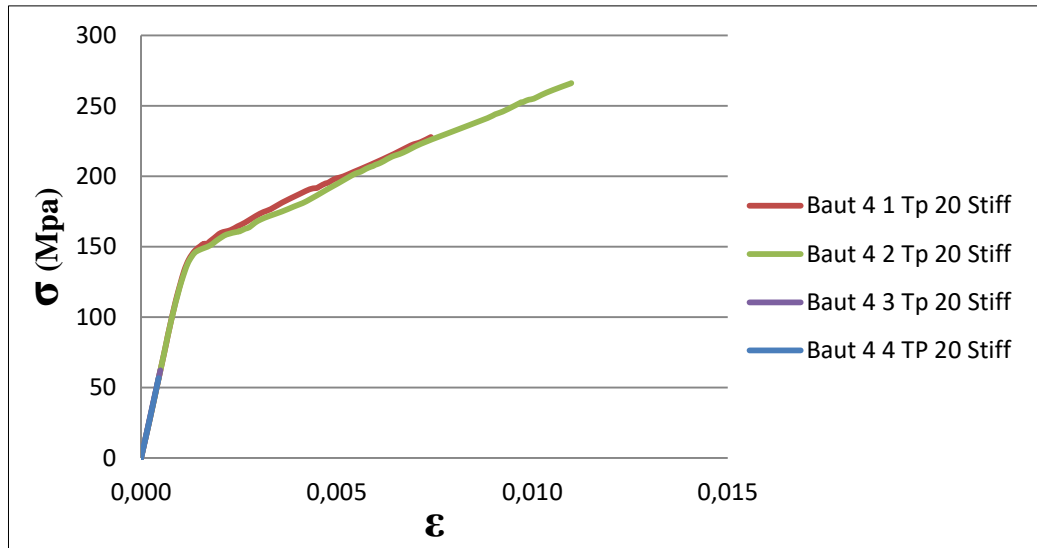


Gambar 4.105: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 stiffener baut 3

#### 4.9.4.4 Tegangan-regangan Pada Baut 4

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 1 dan 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 3 dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegagannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 133,24 MPa dan mengalami plastis dari 141,17 MPa hingga 227,96 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0011 pada saat plastis dan 0,00122 hingga 0,00741 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 119,14 MPa dan mengalami plastis dari 124,44 MPa hingga 266,23 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00097 pada saat plastis dan 0,00102 hingga 0,011 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 62,361 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00049.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 56,803 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00045.



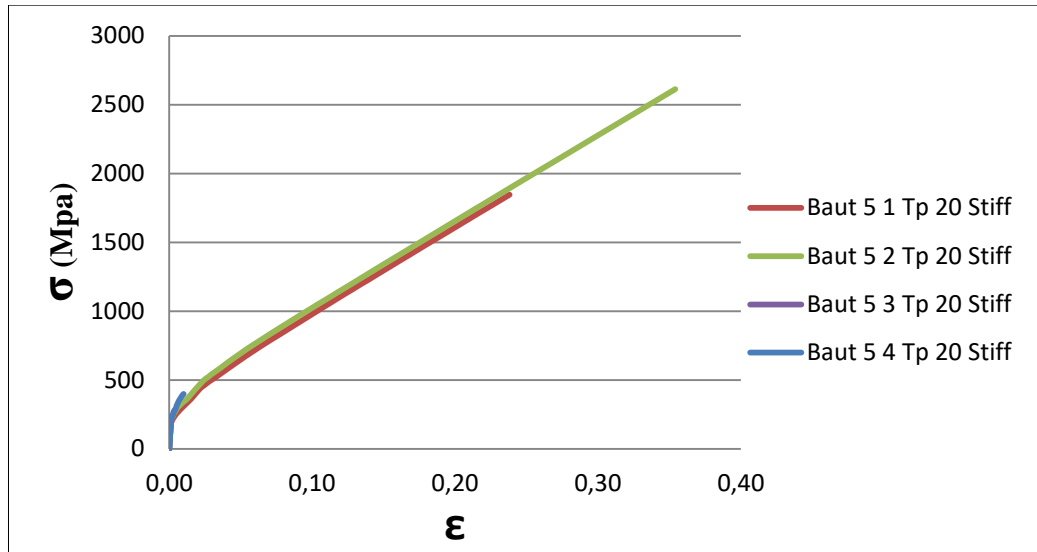
Gambar 4.106: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 stiffner baut 4

#### 4.9.4.5 Tegangan-regangan Pada Baut 5

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 180,71 MPa dan mengalami plastis dari 196,72 MPa hingga 1846,1 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001178 pada saat plastis dan 0,00158 hingga 0,238160 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 178,05 MPa dan mengalami plastis dari 214,55 MPa hingga 2612,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001077 pada saat plastis dan 0,001442 hingga 0,35411 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,62 MPa dan mengalami plastis dari 186,11 MPa hingga 280,62 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00106 pada saat plastis dan 0,001162 hingga 0,00381 pada saat plastis.
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 191,67 MPa dan mengalami plastis dari 208,01 MPa

hingga 398,93 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001196 pada saat elastis dan 0,001341 hingga 0,010051 pada saat plastis.



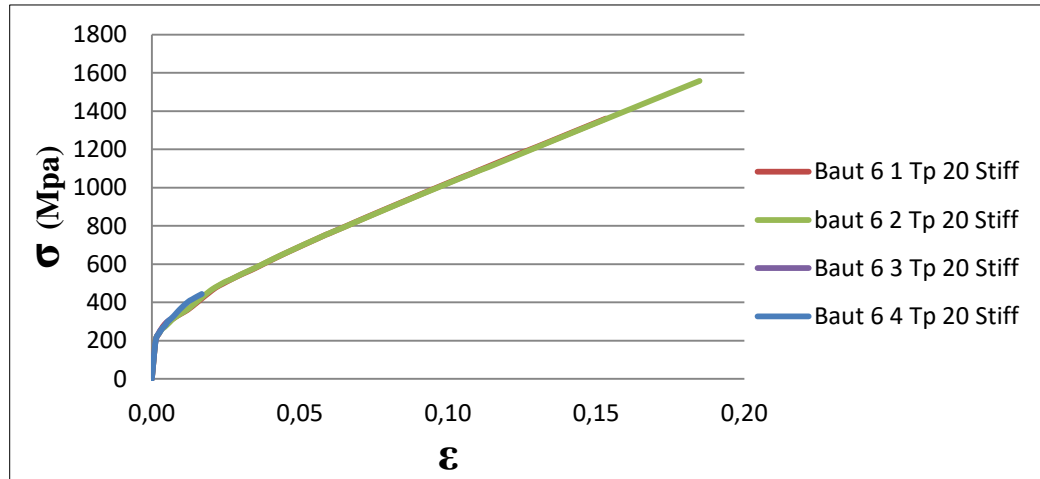
Gambar 4.107: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 *stiffner* baut 5

#### 4.9.4.6 Tegangan-regangan Pada Baut 6

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 172,74 MPa dan mengalami plastis dari 203,73 MPa hingga 1360,7 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001042 pada saat elastis dan 0,001262 hingga 0,15325 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 145,74 MPa dan mengalami plastis dari 168,16 MPa hingga 1557,6 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,000879 pada saat elastis dan 0,00105 hingga 0,1848890 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 165,35 MPa dan mengalami plastis dari 171,08 MPa hingga 307,88 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,001008 pada saat elastis dan 0,00105 hingga 0,005904 pada saat plastis.

- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 170,16 MPa dan mengalami plastis dari 182,68 MPa hingga 444,08 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00105 pada saat plastis dan 0,001147 hingga 0,016879 pada saat plastis.



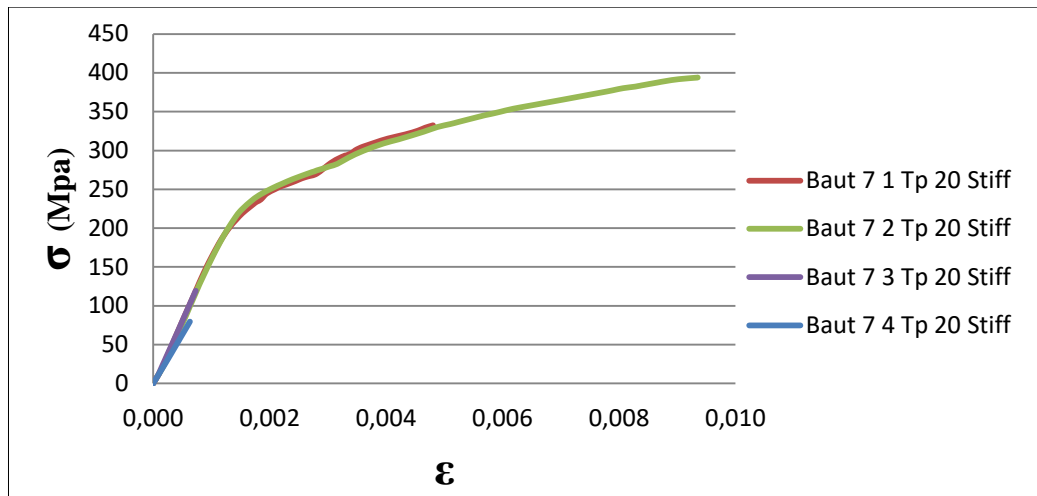
Gambar 4.108: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 stiffener baut 6

#### 4.9.4.7 Tegangan-regangan Pada Baut 7

Pada Gambar 4.101 dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress-strain* yang terjadi bersifat non-linier, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Tetapi sebaliknya pada model 4.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa 201,75 MPa dan mengalami plastis dari 210,78 MPa hingga 332,42 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00132 pada saat plastis dan 0,00142 hingga 0,00481 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 185,85 MPa dan mengalami plastis dari 197,77 MPa hingga 393,96 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00118 pada saat plastis dan 0,00127 hingga 0,00935 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 11,591 MPa dan mengalami plastis dari 12,553 MPa hingga 119,43 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00009 pada saat plastis dan 0,0001 hingga 0,00073 pada saat plastis.

- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 79,628 MPa dan untuk regangannya 0 hingga 0,00063

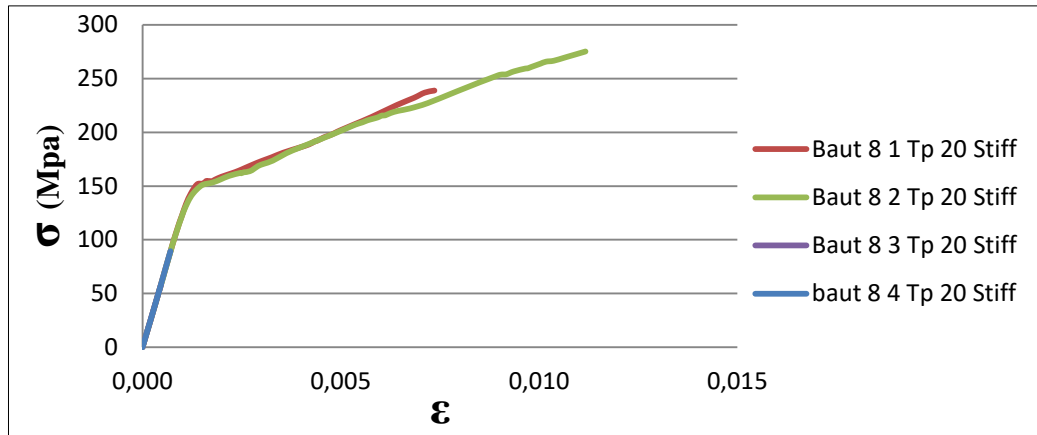


Gambar 4.109: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 stiffner baut 7

#### 4.9.4.8 Tegangan-regangan Pada Baut 8

Pada Gambar dibawah dapat di lihat bahwa diagram hubungan antara *stress- strain* yang terjadi bersifat non-linier pada model 1 dan 2, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya. Sedangkan pada model 3, dan 4 diagram yang terjadi bersifat linier yang mana regangan berbanding lurus dengan tegangannya Hal ini terjadi dikarenakan baut mengalami tekanan.

- A. Pada model 1 dapat diketahui tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa 133,4 MPa dan mengalami plastis dari 143,25 MPa hingga 238,9 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,0011 pada saat plastis dan 0,00122 hingga 0,00736 pada saat plastis.
- B. Pada model 2 didapat tegangan rata-rata yang terjadi saat elastis dari 0 MPa hingga 120,64 MPa dan mengalami plastis dari 127,04 MPa hingga 275,29 MPa. Untuk regangannya 0 hingga 0,00098 pada saat plastis dan 0,00104 hingga 0,01117 pada saat plastis.
- C. Pada model 3 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 58,436 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,00047 .
- D. Pada model 4 didapat tegangan rata-rata yang terjadi adalah 0 MPa hingga 89,429 MPa, sedangkan regangannya 0 hingga 0,0007



Gambar 4.110: Tegangan-Regangan sambungan *end-plate* Tp 20 *stiffner* baut 8

#### 4.10 Perpendekan Dan Perpanjang Baut

Suatu bahan yang menerima beban tarik akan timbul gaya tarik dan mengakibatkan bahan bertambah panjang. Demikian juga pada pembebanan tekan, pada bahan yang bersangkutan akan terjadi perpendekan. Dari tabel dibawah dapat disimpulkan bahwa perpanjang terjadi pada baut 1, 2, 5, dan 6 yang mengalami beban tarik, sedangkan baut 3, 4, 7, dan 8 mengalami beban tekan sehingga terjadinya perpendekan.

##### 4.10.1 Perpanjang -Perpendekan Baut Model TP 16

Berikut ini merupakan hasil analisis perpanjangan-perpendekan model Tp 16 baut pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.16: Perpanjangan-Perpendekan baut model Tp 16

Baut	Perpanjang-perpendekan			
	mm			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	0,6102	19,6140	0,1178	0,1644
2	1,2531	21,3015	3,2507	6,4077
3	0,0071	0,8928	0,5487	0,0567
4	0,0759	0,8518	0,0062	0,0563
5	0,8586	18,129	0,1170	0,2797
6	1,2081	21,390	3,4994	5,8995
7	0,0078	0,9038	0,4884	0,0587
8	0,0616	0,8973	0,0706	0,0529

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu model 2 sebesar 19,6140 mm sedangkan untuk yang terkecil terjadi pada model 3 sebesar 0,1178. Hal ini menunjukkan bahwa tata letak baut sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban. Pada baut 2 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 21,3015 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 1,235 mm. Pada baut 3 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 0,8928 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 0,0071 mm. pada baut 4 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 0,8518 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 0,0563 mm. Pada baut 5 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 18,129 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 0,1170 mm. Pada baut 6 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 21,390 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 1,2081 mm. pada baut 7 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 0,9038 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 0,0078 mm. pada baut 8 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 0,8973 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0529 mm.

#### 4.10.2 Perpanjang-Perpendekan Baut Model TP 20

Berikut ini merupakan hasil analisis perpanjangan-perpendekan model Tp 20 baut pada table dibawah ini.

Tabel 4.17: Perpanjangan-Perpendekan baut model Tp 20

Baut	Perpanjang-perpendekan			
	mm			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	0,8682	20,5395	0,6408	0,3242
2	1,3011	24,0645	7,4532	4,3154
3	0,0605	0,8550	1,0500	0,0480
4	0,0632	1,0774	0,0912	0,0433
5	0,8515	20,4795	0,5171	0,3093
6	1,2362	23,1645	7,4117	4,0733
7	0,0565	0,8648	1,0812	0,0530
8	0,0683	1,117	0,0992	0,0526



Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu model 2 sebesar 20,5395 mm sedangkan untuk yang terkecil terjadi pada model 3 sebesar 0,6408. Hal ini menunjukkan bahwa tata letak baut sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban. Pada baut 2 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 24,0645 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 1,3011 mm. Pada baut 3 perpendekan terbesar pada model 3 sebesar 1,0500 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0480 mm. pada baut 4 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 1,0774 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0433 mm. Pada baut 5 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 18,129 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 0,1170 mm. Pada baut 6 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 23,1645 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 1,2362 mm. pada baut 7 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 1,0821 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0530 mm. pada baut 8 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 1,117 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0526 mm.

#### 4.10.3 Perpanjang -Perpendekan Baut Model TP 16 Dengan *Stiffners*

Berikut ini merupakan hasil analisis perpanjangan-perpendekan model Tp 16 dengan *stiffners* baut pada table dibawah ini.

Tabel 4.18: Perpanjangan-Perpendekan baut model Tp 16 dengan *stiffners*

Baut	Perpanjang-perpendekan			
	mm			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	48,4800	70,2405	0,8566	1,9353
2	31,4430	33,0090	1,6472	3,5079
3	1,9737	1,9904	0,1881	0,0799
4	4,1895	2,2878	0,1026	0,0981
5	47,0400	64,8345	0,8397	2,0022
6	30,1500	34,0785	1,7144	3,2159
7	2,0391	2,0109	0,1856	0,0945
8	4,2857	2,3675	0,1012	0,1020

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu model 2 sebesar 70,2405 mm sedangkan untuk yang

terkecil terjadi pada model 3 sebesar 0,8566. Hal ini menunjukkan bahwa tata letak baut sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban. Pada baut 2 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 33,0090 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 1,6472 mm. Pada baut 3 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 1,9904 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,1881 mm. pada baut 4 perpendekan terbesar pada model 1 sebesar 4,1895 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0981 mm. Pada baut 5 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 64,8345 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 0,8397 mm. Pada baut 6 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 34,0785 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 1,7144 mm. pada baut 7 perpendekan terbesar pada model 1 sebesar 2,0391 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0945 mm. pada baut 8 perpendekan terbesar pada model 1 sebesar 4,2857 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,1012 mm.

#### 4.10.4 Perpanjang- Perpendekan Baut Model TP 20 Dengan *Stiffners*

Berikut ini merupakan hasil analisis perpanjangan-perpendekan model Tp 20 dengan *stiffners* baut pada table dibawah ini

Tabel 4.19: Perpanjangan-Perpendekan baut model Tp 20 dengan *stiffners*

Baut	Perpanjang-perpendekan			
	mm			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	38,7195	52,6485	0,5930	1,6497
2	22,3110	28,3950	0,8558	2,7671
3	0,7941	1,4233	0,1064	0,0615
4	1,1116	1,6499	0,0739	0,0672
5	35,7240	53,1165	0,5715	1,5077
6	22,9875	27,7335	0,8856	2,5319
7	0,7211	1,4030	0,1095	0,0945
8	1,1045	1,676	0,0703	0,1057

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada baut 1 yang mengalami perpanjangan terbesar yaitu model 2 sebesar 52,6485 mm sedangkan untuk yang terkecil terjadi pada model 3 sebesar 0,5930. Hal ini menunjukkan bahwa tata letak

baut sangat mempengaruhi kemampuan sambungan dan baut dalam menahan beban. Pada baut 2 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 28,3950 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 0,8558 mm. Pada baut 3 perpendekan terbesar pada model 2 sebesar 1,4233 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,7941 mm. pada baut 4 perpendekan terbesar pada model 1 sebesar 1,6499 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0672 mm. Pada baut 5 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 53,1165 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 0,5715 mm. Pada baut 6 perpanjangan terbesar pada model 2 sebesar 27,7335 mm sedangkan terkecil pada model 3 sebesar 0,8856 mm. pada baut 7 perpendekan terbesar pada model 1 sebesar 1,4030 mm sedangkan terkecil pada model 1 sebesar 0,0211 mm. pada baut 8 perpendekan terbesar pada model 1 sebesar 1,676 mm sedangkan terkecil pada model 4 sebesar 0,0703 mm.

#### 4.11 Beban Tarik

Tegangan tarik adalah besar gaya tarik dibagi dengan luas penampang suatu benda. Pada umumnya baut yang mengalami beban tarik terbesar terletak di posisi teratas. Hal ini dikarenakan balok mengalami tekanan sedangkan pelat mengalami tarik dan baut berkontribusi sebagai reduksi ketahanan pelat.

##### 4.11.1 Beban Tarik-Tekan Model TP 16

Berikut ini merupakan hasil analisis beban tarik-tekan model Tp 16 baut pada table dibawah ini

Tabel 4.20: Beban tarik-tekan model Tp 16

Baut	Beban Tarik-Tekan			
	N			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	8668,67	43898,3	8993,75	11377,05
2	4702,95	47138,99	15702,98	23807,52
3	2350,28	20037,32	15702,98	2419,19
4	3886,80	299,17	3065,55	3466,24
5	8615,46	44231,79	8369,29	15876,60
6	3343,03	51168,86	16920,09	16714,91

Lanjutan Tabel 4.20: Beban tarik-tekan model Tp 16

Baut	Beban Tarik-Tekan			
	N			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
7	2376,12	22399,23	12452,87	2461,58
8	387,61	617,34	3837,66	2857,06

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 43898,3 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 8668,67 N.
- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 47138,99 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 4702,95 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 20037,32 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 2350,28 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 3886,80 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 299,17 N
- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 44231,79 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 8369,29 N
- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 51168,86 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 3343,03 N
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 22399,23 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 2376,12 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 3837,66 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 387,61 N

#### 4.11.2 Beban Tarik-Tekan Model TP 20 Tanpa *Stiffners*

Berikut ini merupakan hasil analisis beban tarik-tekan model Tp 20 baut pada table dibawah ini:

Tabel 4.21: Beban tarik-tekan model Tp 20

Baut	Beban Tarik-tekan			
	N			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	3704,27	34509,70	26567,07	17464,11
2	55992,99	37859,86	19117,04	15586,39
3	7126,47	24475,52	17869,39	2722,64
4	193,88	6113,02	4567,78	2785,27
5	47327,37	37971,87	23330,71	17975,29
6	53923,32	3113,72	20281,71	15873,55
7	6013,49	24782,53	18706,67	2871,82
8	660,23	8038,35	5122,49	3212,44

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 34509,70 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 3704,27 N.
- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 55992,99 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 19117,04 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 24475,52 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 7126,47 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 6113,02 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 193,88 N

- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 47327,3 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 17975,29 N
- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 53923,32 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 3113,72 N
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 24782,53 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 2871,82 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 8038,35 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 660,23 N

#### 4.11.3 Beban Tarik-Tekan Model TP 16 Dengan *Stiffners*

Berikut ini merupakan hasil analisis beban tarik-tekan model Tp 16 dengan *stiffners* baut pada table dibawah ini:

Tabel 4.22: Beban tarik-tekan model Tp 16 dengan *stiffners*

Baut	Beban Tarik-tekan			
	N			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	96510,57	124643,26	11481,94	12799,09
2	59495,89	75330,23	9760,78	11511,72
3	18904,73	18829,63	6408,84	3541,60
4	1305,65	914,32	4132,97	4503,11
5	93282,61	123961,01	13281,76	16428,00
6	58882,37	77471,18	9287,02	9767,40
7	14999,60	20984,58	6461,02	4229,96
8	520,88	5303,23	4467,22	4191,01

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 124643,26 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 11481,94 N.
- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 75330,23 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 9760,78 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 18904,73 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 3541,60 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 4503,11 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 914,32 N
- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 123961,01 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 13281,76 N
- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 77471,18 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 9287,02 N
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 20984,58 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 4229,96 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 5303,23 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 520,88 N

#### **4.11.4 Beban Tarik-Tekan Model TP 20 Dengan *Stiffners***

Pada suatu bahan yang menerima beban tarik akan timbul gaya tarik dan adanya tegangan tarik ini akan mengakibatkan bahan bertambah panjang. Demikian juga pada pembebanan tekan, pada bahan yang bersangkutan akan terjadi perpendekan. Berikut ini merupakan hasil analisis beban tarik-tekan pada baut model Tp 16 dengan *stiffners* dibawah ini:

Tabel 4.20: Beban tarik-tekan model Tp 20 dengan *stiffners*

Baut	Beban Tarik-tekan			
	N			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	61690,29	75330,23	7730,32	9252,91
2	229267,03	46176,71	4906,78	5714,36
3	42951,29	19256,55	2882,77	3276,33
4	2145,22	3967,75	4026,05	3677,03
5	278653,89	78471,64	7667,95	10209,59
6	233503,10	39295,65	4305,57	7730,83
7	41823,54	21130,96	6461,02	4439,73
8	4158,17	5297,89	4467,22	5009,46

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami beban tarik-tekan terbesar sebagai berikut :

- A. Pada baut 1 beban tarik terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 75330,23 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 7730,32 N.
- B. Pada baut 2 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 229267,03 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 4906,78 N.
- C. Pada baut 3 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 42951,29 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 2882,77 N
- D. Pada baut 4 beban tekan terbesar terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 4026,05 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 2145,22 N
- E. Pada baut 5 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 278653,89 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 7667,95 N
- F. Pada baut 6 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 233503,10 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 4305,57 N



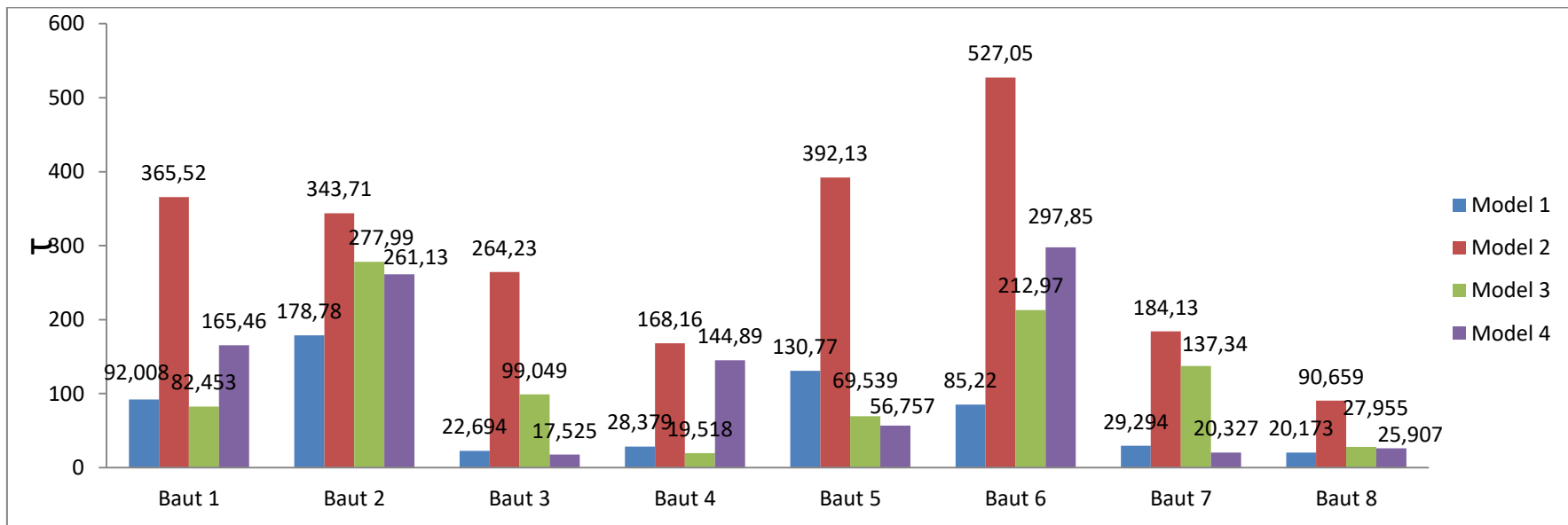
- G. Pada baut 7 beban tarik terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 41823,54 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 4439,73 N
- H. Pada baut 8 beban tekan terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 5297,89 N sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 4158,17 N

## 4.12 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen.

### 4.12.1 Tegangan geser Tp 16

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model 1 baut disusun sejajar



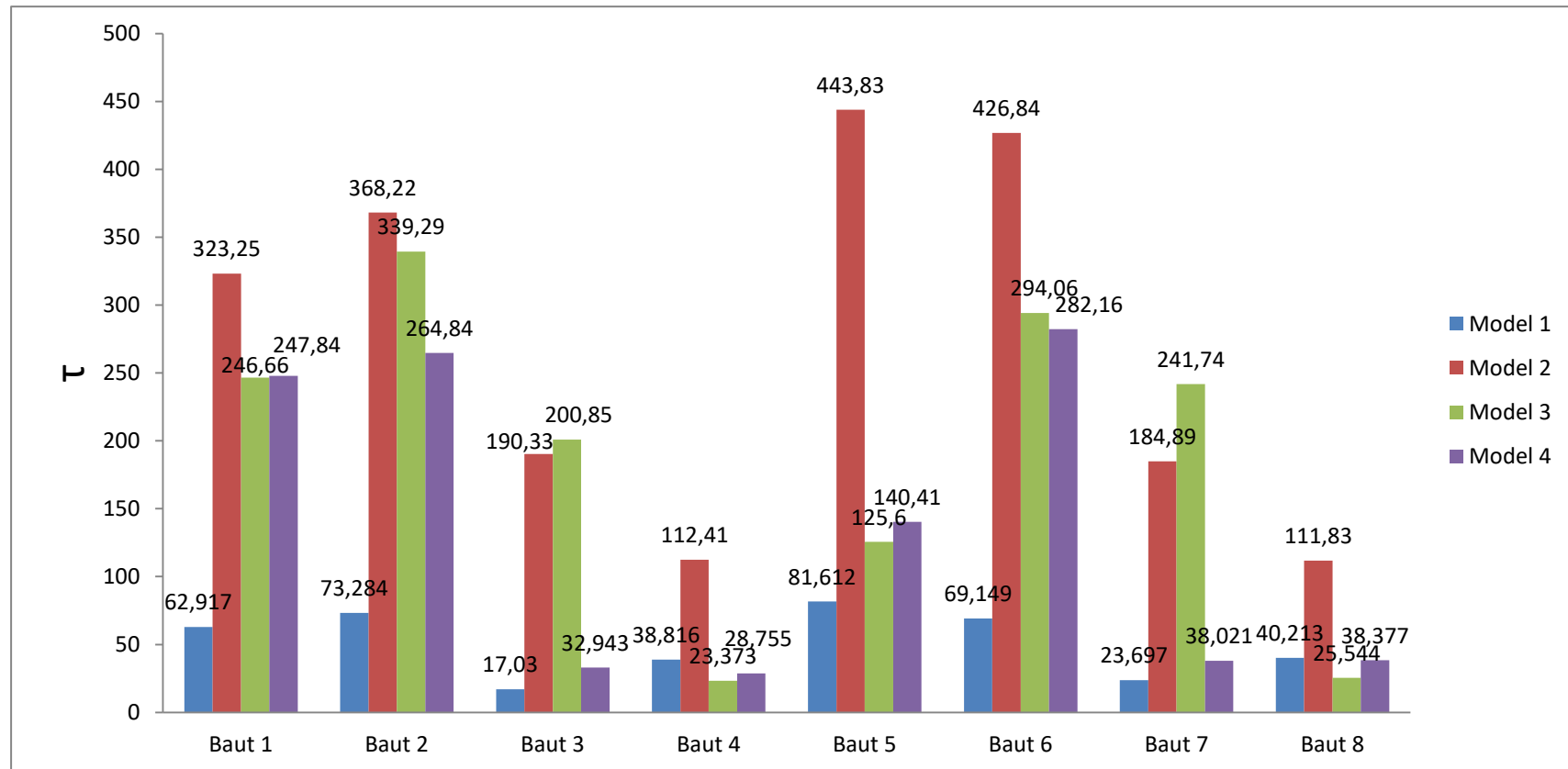
Gambar 4.111: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Tp 16

Pada gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah model 2 dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 365,52 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 82,453.
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 343,71 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 178,78.
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 264,23 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 17,525
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 168,16 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 19,518
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 392,13 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 56,757
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 527,05 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 85,22.
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 184,13 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 20,327.
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 90,659 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 20,173

#### 4.12.2 Tegangan geser Tp 20

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model Tp 20



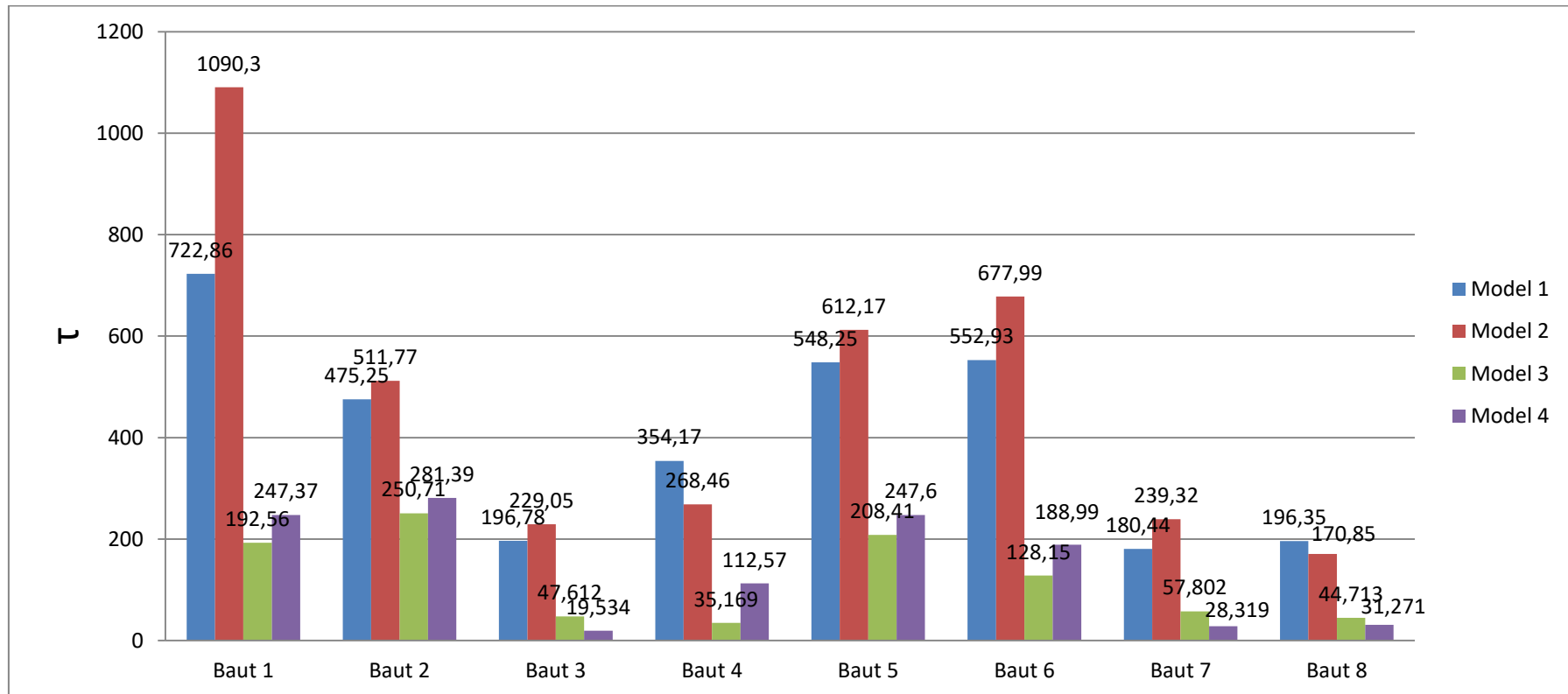
Gambar 4.112: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Tp 20 Tanpa *stiffners*

Dari gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah model 2 dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 323,25 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 62,917
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 368,22 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 73,284.
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 200,85 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 17,09
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 112,41 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 23,373
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 443,83 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 81,612
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 426,84 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 69,149
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 241,74 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 23,697.
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 111,83 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 25,544.

### 4.12.3 Tegangan geser Tp 16 dengan stiffners

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model Tp 16 dengan stiffners



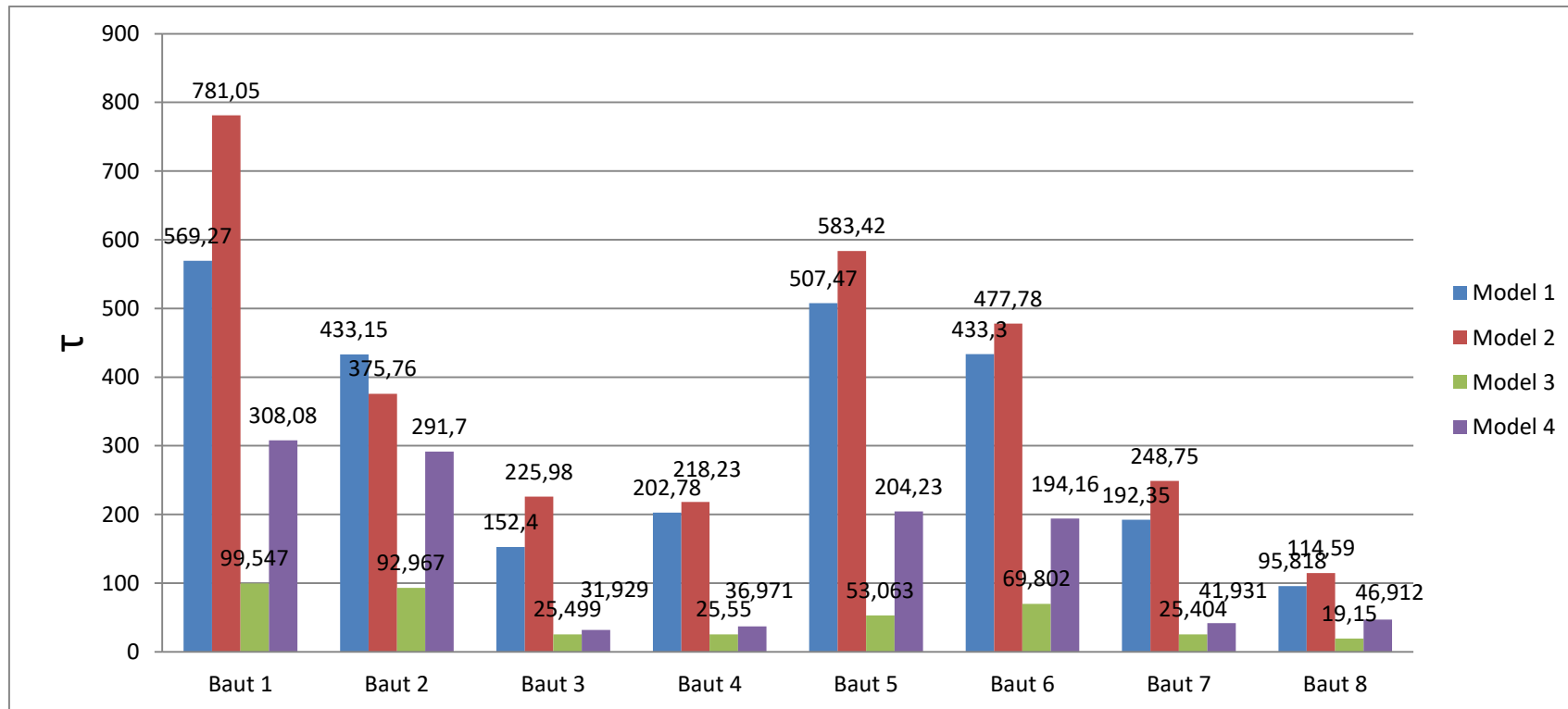
Gambar 4.113: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Tp 16 dengan stiffners

Dari gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah model 2 dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 1090,3 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 192,56
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 511,77 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 250,71
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 229,05 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 19,534
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 354,17 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 35,169
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 612,17 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 208,41
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 677,99 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 128,15
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 239,32 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 28,319
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 196,35 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 4 dengan nilai sebesar 31,271

#### 4.12.4 Tegangan geser Tp 20 dengan stiffners

Berikut ini hasil analisis tegangan geser model Tp 20 dengan stiffners



Gambar 4.114: Tegangan Geser sambungan *end-plate* Tp 20 dengan stiffners



Dari gambar diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa baut yang mengalami ketahanan geser terbesar yaitu adalah model 2 dimana hal ini dapat dilihat dari :

- A. Pada baut 1 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 781,05 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 99,547
- B. Pada baut 2 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 433,15 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 92,967
- C. Pada baut 3 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 225,98 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 25,499
- D. Pada baut 4 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 218,23 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 25,55
- E. Pada baut 5 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 583,42 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 53,063
- F. Pada baut 6 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 477,78 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 69,802
- G. Pada baut 7 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 2 dengan nilai sebesar 248,75 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 25,404
- H. Pada baut 8 ketahanan geser terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai sebesar 192,35 sedangkan untuk terkecil terjadi pada model 3 dengan nilai sebesar 19,15

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan *software* pada sambungan baut pada *end-plate* maka di dapat hasil sebagai berikut:

1. Pada model sambungan *end plate* tanpa *stiffners* dengan ketebalan 16 ke 20 memiliki kecendeungan nilai momen meningkat, namun jika dengan *stiffners* nilai momen kecendrungan menurun, hal ini dikarenakan kegagalan pada baut yang mana *end-plate* belum mencapai titik leleh. untuk lebih jelas dapat dilihat nilai di bawah ini:
2. Untuk klasifikasi sambungan *end- plate* pada setiap model maka dapat diketahui:
  - *End- plate* tanpa *stiffners* TP 16 model 3 dan 4 = *pinned*
  - *End-plate* tanpa *stiffners* TP 16 model 1 dan 2 = *semi-rigid*
  - *End-plate* tanpa *stiffners* TP 20 model 1,2,3 dan 4 = *semi-rigid*
  - *End- plate* dengan *stiffners* TP 16 model 1,2,3 dan 4 = *semi-rigid*
  - *End- plate* dengan *stiffners* TP 20 model 1,2,3 dan 4 = *semi-rigid*
3. Dari hasil analisis tegangan-regangan berdasarkan ketebalan dan model sambungan *end-plate*, maka semua variasi dapat mempengaruhi daktilitas pada tegangan-regangan.
4. Dari hasil analisis perpanjangan-perpendekan didapatkan bahwa ketika ketebalan *end-plate* bertambah perpanjang pada baut juga bertambah namun sebaliknya pada *end-plate* dengan *stiffners*.
5. Dari hasil analisis beban tarik yang terjadi pada baut didapat bahwa tata letak baut sangat menentukan dimana nilai terbesar beban tarik terjadi pada baut yang berada dekat diatas dengan balok yaitu baut 1, 2, 5 dan 6 dengan tegangan geser terbesar diantara model lain dengan nilai sebesar 1090,3 Mpa pada Tp 16 dengan *stiffners* model 2 baut disusun zig-zag.

## 5.2 **Saran**

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

1. Penelitian Perlu dilakukan meshing secara prinsip agar hasil lebih akurat dan tidak kaku.
2. Diharapkan agar menganalisis dengan perangkat yang memadai.
3. Dalam dunia konstruksi perlu diperhatikan analisis tata letak baut dikarenakan semakin maraknya kegagalan konstruksi diakibatkan kurangnya pemahaman cara pemasangan maupun perhitungan terhadap tata letak baut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifwan, D. S., Sipil, J. T., Teknik, F., Ekstension, P. P., & Utara, U. S. (2009). *Analisis Sambungan Portal Baja Sambungan Las Dan Baut*.
- Awwaluddin, M., Purwanta, E., Rekayasa, P., Nuklir, F., Batan, P., Statik, A., ... Pencitraan, P. (2014). *Analisis statik support pemegang sumber pada prototip pencitraan peti kemas menggunakan ansys*. 08(1978), 32–39.
- Bejana, B. P. A. D. A. (2007). *Daftar isi Analisis Kegagalan Sambungan Baut*.
- Charles G. Salmon and John E. Johnson, 1996, *Struktur Baja Desain dan Perilaku* Jilid 1 dan 2, PT Gramedia, Jakarta.
- Dewobroto, W. *Struktur Baja Edisi ke-2* universitas Pelita Harapan
- Hasrianto. Sirajuddin, Awal Syahrani. Mustafa. Selleng, K. (2019). *Analisis Sambungan Batang Tarik Pada Struktur Baja Ringan Dengan Variasi Konfigurasi Sekrup*. 10(1), 918–927.
- Hayati, F. (2017). *Perilaku Sambungan End-Plate Pada Balok-Kolom Portal Baja Dengan Metode Elemen Hingga 3d*. 06(01), 11–19.
- Ismail, F. A. (2011). Identifikasi Kegagalan Struktur Dan Alternatif Perbaikan Serta Perkuatan Gedung Bpkp Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 7(2), 1. <https://doi.org/10.25077/jrs.7.2.1-14.2011>
- Sahlan. (2015). Kegagalan Patah Material Pada Konstruksi Baja. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 7(2), 118–121.
- Salmon, Charles G. dan Jhon E. Jhonson. 1980. *Struktur Baja Desain dan Perilaku Jilid I Edisi Kedua*. Terjemahan oleh Wira. 1996. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Salmon, Charles G. dan Jhon E. Jhonson. 1980. *Struktur Baja Desain dan Perilaku Jilid II Edisi Kedua*. Terjemahan oleh Wira. 1995. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Sari, Ervina. 2003. *Analisis Sambungan Balok dengan Kolom pada Portal Baja*. Tesis. Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI-03-1729-2002)*. Jakarta: Penerbit Erlangga

- Setialaksana, A. P., & Herbudiman, B. (2017). *Kajian Ekonomis Perancangan Sistem Sambungan Struktur Baja pada Rangka Atap dengan Variasi Ukuran Baut , Konfigurasi Baut , dan Mutu Baut*. 3(4), 1–11.
- Silviana, M. (2017). *Studi Kekuatan Sambungan Batang Tarik Pelat Baja*. 2(2).
- Standart Nasional Indonesia 1727:2013 Sambungan terprakualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah baja pada aplikasi seismik.
- Standart Nasional Indonesia 1729:2015 Spesifikasi Umum Untuk Gedung Baja Struktur
- Utama, H. (2018). *Analisis Perbandingan Tegangan Baut Sambungan Balok Kolom Antara Metode Manual dengan Metode Numerik ( ANSYS )*.

# **LAMPIRAN**

## Lampiran

### 1. Kriteria Perencanaan

Secra garis besar material pokok yang digunakan pada perencanaan struktur gedung ini, yaitu:

#### 1.1.1 Beban Mati Tambahan Plat Lantai

##### Lantai 1

Pasir 1,5 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
Semen 1 cm	= 21 kg/m <sup>2</sup>	
Penutup lantai ubin 1 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	+
	<hr/>	
	69 kg/m <sup>2</sup>	= 0,68 KN/m <sup>2</sup>

##### Lantai 2

Pasir 1,5 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
Semen 1 cm	= 21 kg/m <sup>2</sup>	
Penutup lantai ubin 1 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
Penggantung lantai-lantai	= 7 kg/m <sup>2</sup>	+
	<hr/>	
	76 kg/m <sup>2</sup>	= 0,76 KN/m <sup>2</sup>

##### Lantai 3

Pasir 1,5 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
Semen 1 cm	= 21 kg/m <sup>2</sup>	
Penutup lantai ubin 1 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
Penggantung lantai-lantai	= 7 kg/m <sup>2</sup>	+
	<hr/>	
	76 kg/m <sup>2</sup>	= 0,76 KN/m <sup>2</sup>

#### Lantai 4

Pasir 1,5 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
Semen 1 cm	= 21 kg/m <sup>2</sup>	
Penutup lantai ubin 1 cm	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
Penggantung lantai-lantai	= 7 kg/m <sup>2</sup>	+
	<hr/>	
	76 kg/m <sup>2</sup>	= 0,76 KN/m <sup>2</sup>

### 1.1.2 Beban Mati Tambahan Balok

**Setengah Bata = 250 kg/m<sup>2</sup>**

#### Lantai 1

Tinggi Base	= $\frac{3,5}{2} = 1,75$ m
Tinggi Lantai 1	= $\frac{4}{2} = 2$ m
Dinding Bata LT-1	= 250 x (1,75+2) = 937,5 kg/m
	= 9,375 KN/m

#### Lantai 2

Tinggi Lantai 1	= $\frac{4}{2} = 2$ m
Tinggi Lantai 2	= $\frac{4}{2} = 2$ m
Dinding Bata LT-2	= 250 x (2+2) = 1000 kg/m
	= 10 KN/m

#### Lantai 3

Tinggi Lantai 2	= $\frac{4}{2} = 2$ m
Tinggi Lantai 3	= $\frac{4}{2} = 2$ m
Dinding Bata LT-3	= 250 x (2+2) = 1000 kg/m
	= 10 KN/m

#### Lantai 4

Tinggi Lantai 3	= $\frac{4}{2} = 2$ m
Tinggi Lantai 4	= $\frac{4}{2} = 2$ m
Dinding Bata LT-4	= 250 x (2+2) = 1000 kg/m
	= 10 KN/m



**Lantai 5**

$$\text{Lantai 4} = 4/2 = 2 \text{ m}$$

$$\text{Dinding Bata LT-5} = 250 \times 2 = 500 \text{ kg/m}$$

$$= 5 \text{ KN/m}$$

**1.1.3 BEBAN HIDUP PLAT LANTAI (RSNI 1727-201X)****Lantai 1**

$$\text{Lobi dan Koridor lantai pertama} = 4,79 \text{ KN/m}^2$$

**Lantai 2**

$$\text{Kantor} = 2,4 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Koridor diatas lantai pertama} = 3,83 \text{ KN/m}^2 +$$

$$\hline 6,23 \text{ KN/m}^2$$

**Lantai 3**

$$\text{Kantor} = 2,4 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Koridor diatas lantai pertama} = 3,83 \text{ KN/m}^2 +$$

$$\hline 6,23 \text{ KN/m}^2$$

**Lantai 4**

$$\text{Kantor} = 2,4 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Koridor diatas lantai pertama} = 3,83 \text{ KN/m}^2 +$$

$$\hline 6,23 \text{ KN/m}^2$$

**Lantai atap**

$$\text{Atap datar} = 0,96 \text{ KN/m}^2$$

## 1.2 Perhitungan Beban Gempa

### 1.2.1 Umum

Fungsi bangunan	= Perkantoran
Lokasi	= Bandung
Kategori resiko	= II
Kelas situs tanah	= SD (Tanah Sedang)

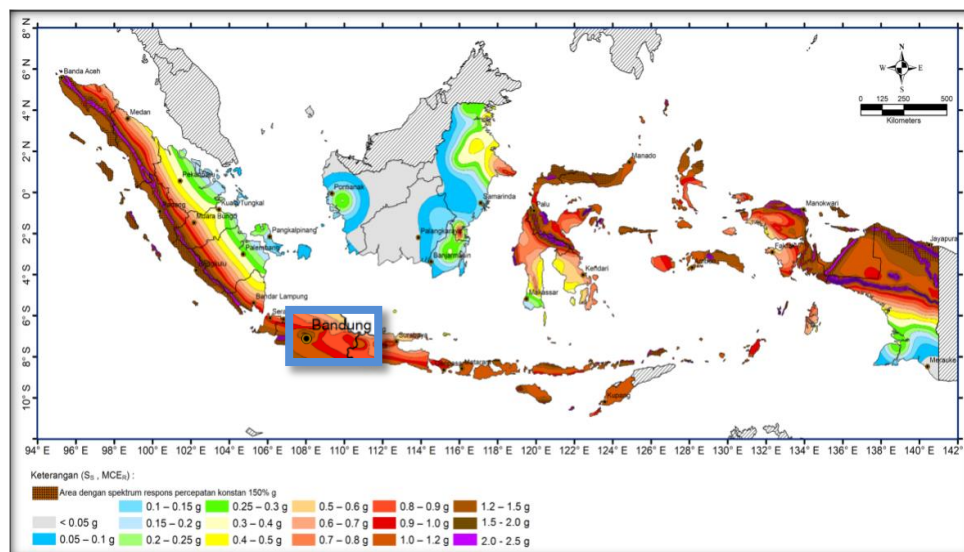
### 1.2.2 Faktor Keutamaan Gempa

Tabel L.1: Faktor keutamaan gempa

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

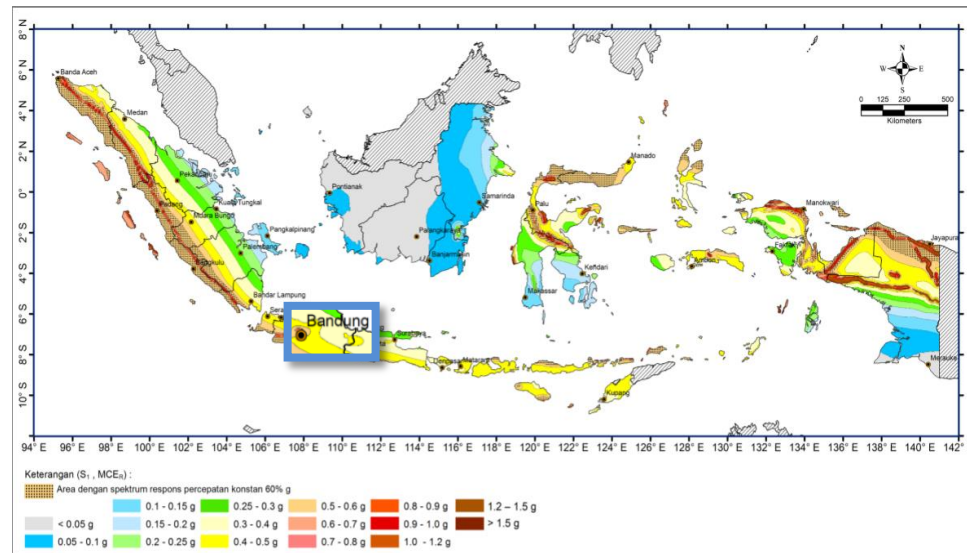
### 1.2.3 Parameter Percepatan Gempa

Percepatan gempa untuk periode pendek, ( $S_s$ ) = 1,2g



Gambar L.1: Peta parameter  $S_s$  untuk daerah Bandung

Percepatan gempa untuk periode pendek, ( $S_1$ ) = 0,6g



Gambar L.2: Peta parameter  $S_1$  untuk daerah Yogyakarta

### 1.2.4 Koefisien Situs

Faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ )= 1,02

Tabel L.2 Koefisien Situs  $F_a$

SS	Kelas Situs				
	SA	SB	SC	SD	SE
0.25	0,8	0,9	1,3	1,6	2,4
0.5	0,8	0,9	1,3	1,4	1,7
0,75	0,8	0,9	1,2	1,2	1,3
1	0,8	0,9	1,2	1,1	1,1
1,25	0,8	0,9	1,2	1	0,9
1.5	0,8	0,9	1,2	1	0,8

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

Tabel L.3 Koefisien Situs  $F_v$

S1	Kelas Situs				
	SA	SB	SC	SD	SE
0,1	0,8	0,8	1,5	2,4	4,2
0,2	0,8	0,8	1,5	2,2	3,3
0,3	0,8	0,8	1,5	2	2,8
0,4	0,8	0,8	1,5	1,9	2,4
0,5	0,8	0,8	1,5	1,8	2,2
0,6	0,8	0,8	1,4	1,7	2

### 1.2.5 Parameter respon spektral

Parameter respon spektral percepatan pada periode pendek

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S = 1,02 \cdot 1,2 = 1,224$$

Parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik

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

### 1.2.6 Parameter percepatan spektral desain

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0,816$$

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0,7$$

### 1.2.7 Kategori Desain Seismik

KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek = D

Tabel L.4: 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 1 detik = D

Tabel L.5: Kategori desain seismik 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

### 1.2.8 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,  $\rho = 1.3$

### 1.2.9 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:

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

- 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:

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

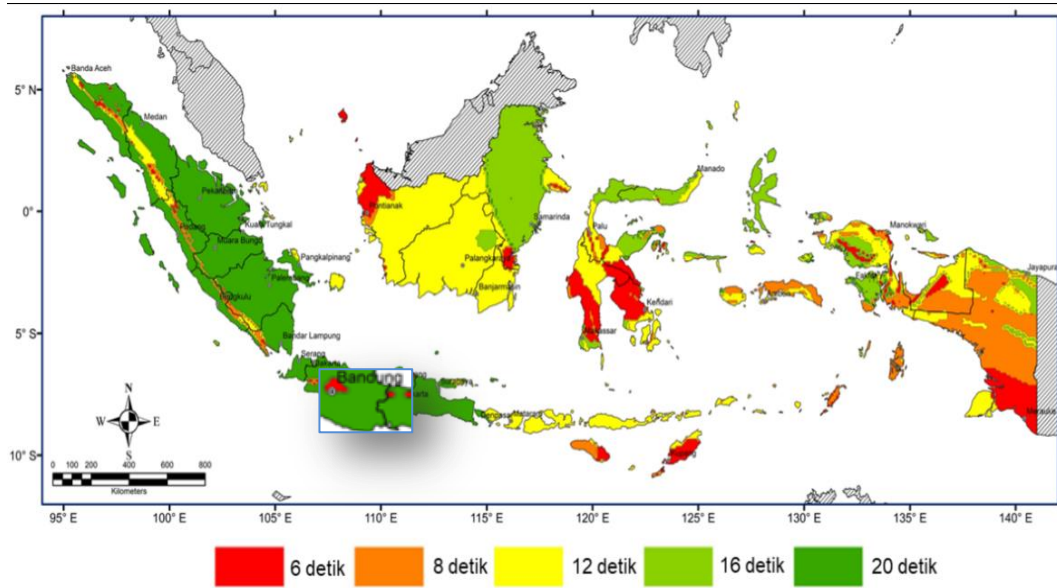
Untuk  $T$ ,  $T_0$ ,  $T_s$ , dan  $T_L$  terdapat pada dibawah ini:

$T$  = periode fundamental struktur

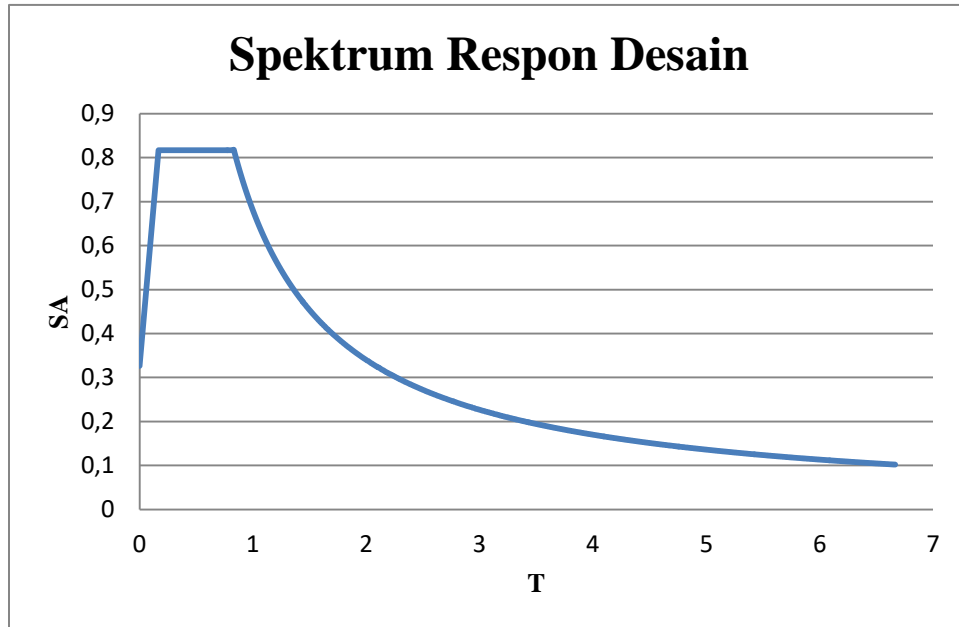
$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \cdot \frac{0,7}{0,816} = 0,171 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,7}{0,816} = 0,858 \text{ detik}$$

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



Gambar L.3: Peta transisi periode panjang,  $T_L$  untuk daerah Bandung



Gambar L.4: Spektrum respon desain untuk daerah Bandung

### 1.2.10 Prosedur Analisis

Tabel L.6: Prosedur analisis pembebanan gempa

KDS	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	Analisis Spektrum Respons Ragam	Prosedur Respons Riwayat Waktu Seismik
B,C	Semua Struktur	I	I	I
D,E,F	Bangunan dengan kategori resiko I dan II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a, atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Ket: TI = Tidak diizinkan, I = Diizinkan

### 1.2.11 Penentuan Periode

Tabel L.7: Penentuan nilai  $C_t$  dan X

Tipe Struktur	$C_t$	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rangka baja pemikul momen</li> <li>Rangka beton pemikul momen</li> </ul>	0,0724	0,8
Rangka baja dengan bresing eksentrik	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

$$T_{aminimum} = C_t \cdot h_n^x = 0,0724 \times 19,5^{0,8} = 0,77941 \text{ detik}$$

Ket:

$h_n$  = ketinggian struktur (m)

Tabel L.8: Penentuan nilai  $C_u$

Parameter percepatan respon spectral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$$T_{amaksimum} = C_u \cdot T_{aminimum} = 1,4 \times 0,77941 = 1,09117 \text{ detik}$$

Periode arah X

Periode arah Y

$$T_{software} = 0,959 \text{ detik (diambil)} \quad T_{software} = 0,959 \text{ detik (diambil)}$$

$$T_{aminimum} = 0,779 \text{ detik} \quad T_{aminimum} = 0,779 \text{ detik}$$

$$T_{amaksimum} = 1,091 \text{ detik} \quad T_{amaksimum} = 1,091 \text{ detik}$$

### 1.2.12 Gaya Lateral Gempa

Tabel L.9: Gaya lateral gempa pada arah X dan Y

Lantai	Tinggi	X	Y
	m	KN	KN
Atap	19,5	234,7343	234,7343
4	15,5	490,2389	490,2389
3	11,5	675,4429	675,4429
2	7,5	797,1426	797,1426
1	3,5	841,3965	841,3965
Base	0	0	0

### 1.2.13 Story Shears

Tabel L.10: Story Shears arah X dan Y

Lantai	Tinggi	X	Y
	m	KN	KN
Atap	19,5	234,7343	234,7343
4	15,5	490,2389	490,2389
3	11,5	675,4429	675,4429
2	7,5	797,1426	797,1426
1	3,5	841,3965	841,3965
Base	0	0	0



### 1.2.14 Modal

Dalam RSNI3 1726-201X dijelaskan bahwa analisis harus dilakukan untuk menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi 100% dari massa struktur.

Tabel L.11: Modal pada arah X dan Y

Mode	Periode detik	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	0,959	0,7565	0	0,7565	0
2	0,955	0	0,763	0,7565	0,763
3	0,813	0	0	0,7565	0,763
4	0,304	0,1269	0	0,8834	0,763
5	0,3	0	0,1213	0,8834	0,8843
6	0,26	0	0	0,8834	0,8843
7	0,155	0	0,0536	0,8834	0,938
8	0,154	0,0555	0	0,939	0,938
9	0,134	0	0	0,939	0,938
10	0,102	0	0,0327	0,939	0,9707
11	0,1	0,0339	0	0,9728	0,9707
12	0,087	0	0	0,9728	0,9707

### 1.2.15 Faktor Skala

Untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100% dari gaya geser dasar ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V/V_t$ , dimana  $V$  merupakan gaya geser dasar statik ekuivalen dan  $V_t$  merupakan gaya geser dasar yang didapat dari hasil analisis kombinasi ragam.

Koefisien respons seismik dinyatakan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} = \frac{0,816}{8} = 0,102$$

Nilai  $C_s$  tidak lebih dari:

-Untuk  $T < T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,7}{0,959 \cdot \frac{8}{1}} = 5,67$$

$C_s$  tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \times 0,816 \times 1 = 0,04 \geq 0,01$$

Maka, nilai  $C_s$  yang dipakai  $C_s = 0.102$ .

Didapat nilai geser dasar ragam terkombinasi untuk arah X ( $V_x$ ) = 550,0555 kN dan untuk arah Y ( $V_y$ ) = 555,7781 kN.

Berat total struktur  $W = 8247,282$  KN, maka gaya geser statik ekuivalen sebagai berikut:

$$V_s = C_s \cdot W = 0,102 \times 8247,282 = 841,2227 \text{ kN} > V_x = 550,055 \text{ KN dan } V_s > V_y = 555,7781 \text{ kN}$$

Dengan  $V_x < 100\% V_s$  dan  $V_y < 100\% V_s$ , maka faktor skala gaya harus di perhitungkan.

Faktor Skala Gaya:

$$\frac{g \cdot I_e}{R} = \frac{9,81 \times 1}{8} = 1,226 \text{ m/s}^2$$

Skala Gaya arah X

$$\text{Faktor Skala Gaya} \times \frac{V_s}{V_x} = 1,226 \times \frac{841,2227}{550,055} = 1,8753 \text{ m/s}^2$$

Skala Gaya arah Y

$$\text{Faktor Skala Gaya} \times \frac{V_s}{V_y} = 1,226 \times \frac{841,2227}{555,7781} = 1,8560 \text{ m/s}^2$$

Dengan faktor skala yang diperhitungkan didapat nilai gaya geser dasar ragam terkombinasi  $V_x = 841,3965$  kN dan  $V_y = 841,3964$  kN dengan nilai  $V_s = 841,2227$  kN  $< V_x = 841,3965$  kN dan  $V_s < V_y = 841,3964$  kN, maka faktor skala gaya yang di perhitungkan sudah benar.

### 1.2.16 Simpangan Antar Lantai

Dalam menghitung simpangan antar tingkat, ada batasan yang tidak boleh melebihi batas yang diizinkan, seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel L.12: Simpangan antar tingkat izin,  $\Delta_a$

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah di desain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	<b><math>0,020h_{sx}</math></b>	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Untuk struktur yang didesain dengan kategori desain seismik D simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi  $\Delta_a/\rho$ . Dari hasil analisis didapat simpangan antar lantai sebagai berikut:

Tabel L.13: Simpangan antar lantai arah X

Lantai	delta Total	delta xe	cd	delta x	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
Atap	42,741	6,796	5,5	37,4	4000	61,5	OK
4	35,945	10,17	5,5	55,9	4000	61,5	OK
3	25,775	10,861	5,5	59,7	4000	61,5	OK
2	14,914	10,305	5,5	56,7	4000	61,5	OK
1	4,609	4,609	5,5	25,3	3500	53,8	OK

Tabel L.14: Simpangan antar lantai arah Y

Lantai	delta Total	delta xe	cd	delta x	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
Atap	41,586	5,97	5,5	32,8	4000	61,5	OK
4	35,616	9,638	5,5	53,0	4000	61,5	OK
3	25,978	10,882	5,5	59,9	4000	61,5	OK
2	15,096	10,493	5,5	57,7	4000	61,5	OK
1	4,603	4,603	5,5	25,3	3500	53,8	OK

### 1.2.17 P-delta

Pengaruh P-delta pada geser dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkan tidak perlu diperhitungkan bila koefien stabilitas  $\theta$  sama dengan atau kurang dari 0,1

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta_{cd}} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1,55} = 0,09 \leq 0,25$$

Dari hasil di atas efek P-delta tidak perlu di analisis dikarenakan nilai  $\theta_{max} \leq 0,1$  ataupun 0,25

### 1.2.18 Torsi

Tabel L.17: torsi akibat gaya lateral arah X + Eksentrisitas

Lantai	Delta Max	Delta Min	Delta avg	Ay	Cek
Atap	35,401	30,273	32,837	1	OK
4	29,642	25,32	27,481	1	OK
3	21,123	18,017	19,57	1	OK
2	12,156	10,358	11,257	1	OK
1	3,738	3,185	3,4615	1	OK

Tabel L.18: torsi akibat gaya lateral arah Y + Eksentrisitas

Lantai	Delta Max	Delta Min	Delta avg	Ay	Cek
Atap	34,736	29,588	32,162	1	OK
4	29,532	25,193	27,3625	1	OK
3	21,363	18,244	19,8035	1	OK
2	12,327	10,522	11,4245	1	OK
1	3,744	3,189	3,4665	1	OK

Tabel L.19: torsi akibat gaya lateral arah X - Eksentrisitas

Lantai	Delta Max	Delta Min	Delta avg	Ay	Cek
Atap	35,401	30,273	32,837	1	OK
4	29,642	25,32	27,481	1	OK
3	21,123	18,017	19,57	1	OK
2	12,156	10,358	11,257	1	OK
1	3,738	3,185	3,4615	1	OK

Tabel L.20: torsi akibat gaya lateral arah Y - Eksentrisitas

Lantai	Delta Max	Delta Min	Delta avg	Ay	Cek
Atap	34,736	29,588	32,162	1	OK
4	29,532	25,193	27,3625	1	OK
3	21,363	18,244	19,8035	1	OK
2	12,327	10,522	11,4245	1	OK
1	3,744	3,189	3,4665	1	OK

### 1.2.19 Ketidakberaturan Horizontal

Dibawah ini merupakan syarat ketidakberaturan horizontal tipe 1a:

Tabel L.21: ketidakberaturan horizontal tipe 1a arah X + eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	Cek
Atap	35,401	39,4044	OK
4	29,642	32,9772	OK
3	21,123	23,484	OK
2	12,156	13,5084	OK
1	3,738	4,1538	OK

Tabel L.22: ketidakberaturan horizontal tipe 1a arah Y + eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	Cek
Atap	34,736	38,5944	OK
4	29,532	32,835	OK
3	21,363	23,7642	OK
2	12,327	13,7094	OK
1	3,744	4,1598	OK

Tabel L.23: ketidakberaturan horizontal tipe 1a arah X - eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	Cek
Atap	35,401	39,4044	OK
4	29,642	32,9772	OK
3	21,123	23,484	OK
2	12,156	13,5084	OK
1	3,738	4,1538	OK

Tabel L.24: ketidakberaturan horizontal tipe 1a arah Y - eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	Cek
Atap	34,736	38,5944	OK
4	29,532	32,835	OK
3	21,363	23,7642	OK
2	12,327	13,7094	OK
1	3,744	4,1598	OK

Dibawah ini merupakan syarat ketidakberaturan horizontal tipe 1b:

Tabel L.25: ketidakberaturan horizontal tipe 1b arah X + eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	\`Cek
Atap	35,401	45,9718	OK
4	29,642	38,4734	OK
3	21,123	27,398	OK
2	12,156	15,7598	OK
1	3,738	4,8461	OK

Tabel L.26: ketidakberaturan horizontal tipe 1b arah Y + eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	\`Cek
Atap	34,736	45,0268	OK
4	29,532	38,3075	OK
3	21,363	27,7249	OK
2	12,327	15,9943	OK
1	3,744	4,8531	OK

Tabel L.27: ketidakberaturan horizontal tipe 1b arah X - eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	\`Cek
Atap	35,401	45,9718	OK
4	29,642	38,4734	OK
3	21,123	27,398	OK
2	12,156	15,7598	OK
1	3,738	4,8461	OK

Tabel L.28: ketidakberaturan horizontal tipe 1b arah Y - eksentrisitas

Lantai	Delta Max	1.2xDelta avg	\`Cek
Atap	34,736	45,0268	OK
4	29,532	38,3075	OK
3	21,363	27,7249	OK
2	12,327	15,9943	OK
1	3,744	4,8531	OK

## 1.2.20 Ketidakberaturan Vertikal

Tabel L.29: ketidakberaturan vertikal tipe 1a arah X

Tingkat	K	70%	Cek
Atap	33389,329	-	-
4	47470,039	29,66	AMAN
3	61907,176	23,32	AMAN
2	77298,267	19,91	AMAN
1	182642,416	57,68	AMAN

Tabel L.30: ketidakberaturan vertikal tipe 1a arah Y

Tingkat	K	70%	Cek
Atap	37061,251	-	-
4	49690,929	25,42	AMAN
3	61724,539	19,50	AMAN
2	75990,125	18,77	AMAN
1	182821,349	58,43	AMAN

Tabel L.31: ketidakberaturan vertikal tipe 1b arah X

Tingkat	K	60%	Cek
Atap	33389,329	-	-
4	47470,039	29,66	AMAN
3	61907,176	23,32	AMAN
2	77298,267	19,91	AMAN
1	182642,416	57,68	AMAN

Tabel L.32: ketidakberaturan vertikal tipe 1b arah X

Tingkat	K	60%	Cek
Atap	37061,251	-	-
4	49690,929	25,42	AMAN
3	61724,539	19,50	AMAN
2	75990,125	18,77	AMAN
1	182821,349	58,43	AMAN

Tabel L.33: ketidakberaturan vertikal tipe 2

Tingkat	Massa (Kg)	150%	Cek
Atap	112856,57		-
4	174645,47	98,20435718	AMAN
3	177838,82	98,33326661	AMAN
2	180853,16	106,2657692	AMAN
1	170189,48		-

### **1.3 PERHITUNGAN BEBAN ANGIN**

#### **1.3.1 Kecepatan Angin**

$$\begin{aligned}\text{Jarak} &= 68,4 \text{ km} \\ \text{Kecepatan (V)} &= 11,988 \text{ km/jam} \\ &= 3,33 \text{ m/s} \\ &= 7,432 \text{ mph}\end{aligned}$$

#### **1.3.2 Faktor Arah Angin**

$$\text{Faktor arah angin, kd} = 0,85 \text{ (SPGAU)}$$

#### **1.3.3 Eksposur**

$$\begin{aligned}\text{Kekasaran permukaan} &= B \\ \text{Eksposur} &= C\end{aligned}$$

#### **1.3.4 Faktor Topografi**

Dikarenakan struktur tidak memenuhi semua kondisi, maka  $K_{zt} = 1,1119$

#### **1.3.5 Faktor Elevasi Permukaan Tanah**

$$\begin{aligned}\text{Elevasi tanah diatas permukaan laut, } z_g &= 677 \text{ m} \\ \text{Faktor elevasi permukaan tanah, } K_e &= 0,9234\end{aligned}$$

#### **1.3.6 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan, Kh dan Kz**

$$\begin{aligned}\text{Ketinggian di atas permukaan tanah, } z &= 19,5 \text{ m} \\ K_z \text{ dan } K_h &= 1,148\end{aligned}$$

#### **1.3.7 Faktor Hembusan Angin**

$$\text{Faktor hembusan angin, } G = 0,85$$

#### **1.3.8 Koefisien Tekanan Internal, Gcpi**

$$\begin{aligned}\text{Klasifikasi} &= \text{bangunan tertutup} \\ G_{cpi} \text{ datang} &= 0,18 \\ G_{cpi} \text{ pergi} &= 0,18\end{aligned}$$

#### **1.3.9 Koefisien tekanan dinding, Cp**

$$L/B = 16/16 = 1$$



Sisi angin datang = 0,8

Sisi angin pergi = 0,5

## 1.4 Perhitungan Desain Pelat Ujung Dan Baut Berdasarkan SNI 7972:2013

### 1.4.1 Menentukan momen muka kolom $M_f$

Momen maksimum ( $M_{pr}$ ) = 1,41,9843 kN.m

Gaya geser pada ujung balok ( $V_u$ ) = 120,343 kN

Jarak dari muka kolom yang mungkin terjadi ( $S_h$ ) = 0,6 m

$$M_f = M_{pr} + V_u S_h = 141,9843 + (120,343 \cdot 0,6) = 214,191 \text{ kN.m}$$

### 1.4.2 Menentukan ukuran-ukuran komponen struktur yang disambung

TABEL 6.1 Pembatasan Parametrik pada Prakuifikasi						
Parameter	Tanpa pengaku dengan Empat-Baut (4E)		Dengan pengaku dengan Empat-Baut (4ES)		Dengan pengaku dengan Delapan-Baut (8ES)	
	Maksimum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maksimum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maksimum in. (mm)	Minimum in. (mm)
$t_{bf}$	3/4 (19)	3/8 (10)	3/4 (19)	3/8 (10)	1 (25)	9/16 (14)
$b_{bf}$	9 1/4 (235)	6 (152)	9 (229)	6 (152)	12 1/4 (311)	7 1/2 (190)
$d$	55 (1 400)	13 3/4 (349)	24 (610)	13 3/4 (349)	36 (914)	18 (457)
$t_p$	2 1/4 (57)	1/2 (13)	1 1/2 (38)	1/2 (13)	2 1/2 (64)	3/4 (19)
$b_p$	10 3/4 (273)	7 (178)	10 3/4 (273)	7 (178)	15 (381)	19 (229)
$g$	6 (152)	4 (102)	6 (152)	3 1/4 (83)	6 (152)	5 (127)
$p_{fi}, p_{fo}$	4 1/2 (114)	1 1/2 (38)	5 1/2 (140)	1 3/4 (44)	2 (51)	1 5/8 (41)
$p_b$	-	-	-	-	3 3/4 (95)	3 1/2 (89)

$b_{bf}$  = lebar sayap balok, in. (mm)  
 $b_p$  = lebar pelat-ujung, in. (mm)  
 $d$  = tinggi penampang balok penyambung, in. (mm)  
 $g$  = jarak horizontal antara baut-baut, in. (mm)  
 $p_b$  = jarak vertikal antara baris baut sebelah dalam dan sebelah luar dalam sambungan 8ES, in. (mm)  
 $p_{fi}$  = jarak vertikal dari bagian dalam dari suatu sayap tarik balok ke baris baut bagian dalam terdekat, in. (mm)  
 $p_{fo}$  = jarak vertikal dari bagian luar dari suatu sayap tarik balok ke baris baut bagian luar terdekat, in. (mm)  
 $t_{bf}$  = ketebalan sayap balok, in. (mm)  
 $t_p$  = ketebalan pelat-ujung, in. (mm)

$b_{bf}$  = 200 mm                       $g$  = 120 mm                      BJ 41

$t_{bf}$  = 13 mm                       $p_{fi}, p_{fo}$  = 60 mm

$d$  = 400 mm                       $F_{yp}$  = 250 Mpa

### 1.4.3 Menentukan diameter baut

Untuk sambungan baut (4E, 4ES)

$$d_{breq'd} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_o + h_1)}}$$

Dimana :

$$\text{Kekuatan tarik nominal baut } (F_{nt}) = 620 \text{ Mpa}$$

$$\text{Jarak dari sumbu sayap ke baut terluar sisi taik } (h_0) = 453,5 \text{ mm}$$

$$h_i = 320,5 \text{ mm}$$

$$\phi_n = 0,9$$

$$d_{req'd} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_0 + h_i)}} = \sqrt{\frac{2 (214191)}{\pi 0,9 620 (453,5 + 320,5)}} = 17,765 \text{ mm}$$

Diambil 18 mm

#### 1.4.4 Menentukan ketebalan pelat-ujung yang diisyaratkan :

$$d_{preq'd} = \sqrt{\frac{1,11M_f}{\phi_d F_{yp} Y_p}}$$

Dimana :

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{P_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_o \left( \frac{1}{P_{fo}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 (P_{fi} + s) \right]$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{400 \cdot 120} = 109,5445$$

$$Y_p = \frac{400}{2} \left[ 320,5 \left( \frac{1}{60} + \frac{1}{109,5445} \right) + 453,5 \left( \frac{1}{60} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{120} \left[ 320,5 (60 + 109,5445) \right]$$

$$Y_p = 3970,8005 \text{ mm}^2$$

$$d_{preq'd} = \sqrt{\frac{1,11M_f}{\phi_d F_{yp} Y_p}} = \sqrt{\frac{1,11 \cdot 214191}{1 \cdot 250 \cdot 3970,8005}} = 15,475809 \text{ mm}$$

Diambil 16 mm

#### 1.4.5 Menghitung gaya sayap balok terfaktor

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}} = \frac{214191}{400 - 13} = 553465,89 \text{ N}$$

#### 1.4.6 Periksa pelehan geser bagian yang diperpanjang dari pelat-ujung

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_d R_n = \phi_d (0,6) F_{yp} b_p t_p$$

$$\frac{214191}{2} \leq 1 (0,6) 250 \cdot 400 \cdot 16$$

$$276732,95 \leq 960000$$

Memenuhi

**1.4.7 Periksa keruntuhan geser bagian pelat-ujung yang dipepanjang pada pelat ujung**

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi d R_n = \phi d (0,6) F_{up} A_n \quad A_n = 5728 \text{ mm}^2$$
$$276732,95 \leq 1409088 \quad \text{Memenuhi}$$

**1.4.8 Menghitung ketebalan pengaku pelat ujung**

$$t_s \geq t_{bw} \frac{F_{yb}}{F_{ys}}$$
$$16 \geq 8 \frac{250}{250}$$
$$16 \geq 8 \quad \text{Memenuhi}$$

**1.4.9 Meninjau kekuatan runtuh geser baut dari sambungan yang disediakan oleh baut pada satu (gaya tekan) sayap**

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_{nv} A_b$$
$$n_b = 4 \text{ buah}$$
$$A_b = 254,571429 \text{ mm}^2$$
$$120345 \text{ N} \leq 0,9 (4) 372 254,5714$$
$$120345 \leq 340922,057 \quad \text{Memenuhi}$$

**1.4.10 Meninjau kegagalan tumpu/sobek dari pelat-ujung dan sayap kolom**

Periksa kegagalan tumpu/sobek kolom

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no}$$
$$120345 \leq 0,9 (2) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no}$$
$$n_i = 2 \text{ buah} \quad n_o = 2 \text{ buah}$$
$$L_c = 140 \text{ mm} \quad d_b = 18 \text{ mm} \quad r_{ni} = r_{no}$$
$$r_{ni} = 1,2 L_c t F_u < 2,4 d_b t F_u \quad 1102080 \leq 283392$$
$$r_{ni} = 1,2 140 t F_u < 2,4 18 t F_u \quad 120345 \leq 2493849,6 \text{ N. mm}$$

## 1.5 Tegangan-Regangan Baut Pada Model 1 Baut Disusun Sejajar

<b>Tegangan-Regangan Baut 1</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0
0,2	10000	15,232	0,000096
0,4	20000	28,446	0,000177
0,535	26750	37,397	0,000233
0,59575	29788	41,448	0,000258
0,6565	32825	45,515	0,000283
0,74762	37381	51,698	0,000321
0,83875	41938	57,778	0,000358
0,91938	45969	63,297	0,000392
1	50000	68,709	0,000426
1,1	55000	75,526	0,000468
1,2	60000	82,225	0,000509
1,35	67500	92,281	0,000571
1,575	78750	107,11	0,000664
1,9125	95625	129,64	0,000815
2	100000	135,33	0,000856
2,1	105000	143,16	0,000911
2,145	107250	146,22	0,000934
2,19	109500	149,29	0,000958
2,2575	112880	153,9	0,000993
2,3588	117940	160,92	0,001051
2,5106	125530	173,04	0,001155
2,7384	136920	194,46	0,001363
3	150000	221,88	0,001728
3,05	152500	226,19	0,001822
3,1	155000	234,96	0,001945
3,175	158750	242,77	0,002123
3,2875	164380	252,61	0,002368
3,4562	172810	266,23	0,002785
3,7094	185470	288,21	0,003577
3,7388	186940	290,42	0,003674
3,7682	188410	293,57	0,003782
3,7977	189880	296,95	0,004016
3,8124	190620	297,95	0,004058
3,8153	190770	298,24	0,004068

<b>Tegangan-Regangan Baut 2</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0
0,2	10000	19,497	0,000121
0,4	20000	36,607	0,000223
0,535	26750	48,285	0,000293
0,59575	29788	53,582	0,000324
0,6565	32825	58,997	0,000357
0,74762	37381	66,914	0,000404
0,83875	41938	74,814	0,000451
0,91938	45969	81,816	0,000493
1	50000	88,795	0,000535
1,1	55000	97,976	0,000589
1,2	60000	106,63	0,000640
1,35	67500	119,66	0,000718
1,575	78750	139,72	0,000836
1,9125	95625	168,72	0,001021
2	100000	176,32	0,001074
2,1	105000	185,34	0,001139
2,145	107250	189,37	0,001169
2,19	109500	193,39	0,001200
2,2575	112880	199,48	0,001248
2,3588	117940	209,47	0,001339
2,5106	125530	227,36	0,001546
2,7384	136920	246,69	0,002087
3	150000	274,84	0,003234
3,05	152500	277,93	0,003473
3,1	155000	281,92	0,003732
3,175	158750	288,2	0,004134
3,2875	164380	296,02	0,004715
3,4562	172810	308,99	0,005680
3,7094	185470	329,71	0,007443
3,7388	186940	332,54	0,007656
3,7682	188410	335,71	0,007882
3,7977	189880	340,42	0,008220
3,8124	190620	342,09	0,008331
3,8153	190770	342,44	0,008354

<b>Tegangan-Regangan Baut 3</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0
0,2	10000	10,176	0,000083
0,4	20000	10,608	0,000085
0,535	26750	10,956	0,000088
0,59575	29788	11,125	0,000089
0,6565	32825	11,301	0,000090

<b>0,74762</b>	37381	11,58	0,000091
<b>0,83875</b>	41938	11,861	0,000093
<b>0,91938</b>	45969	12,131	0,000095
<b>1</b>	50000	12,418	0,000097
<b>1,1</b>	55000	12,796	0,000099
<b>1,2</b>	60000	13,168	0,000101
<b>1,35</b>	67500	13,761	0,000105
<b>1,575</b>	78750	14,725	0,000111
<b>1,9125</b>	95625	16,303	0,000121
<b>2</b>	100000	16,748	0,000124
<b>2,1</b>	105000	17,336	0,000128
<b>2,145</b>	107250	17,601	0,000130
<b>2,19</b>	109500	17,882	0,000131
<b>2,2575</b>	112880	18,331	0,000134
<b>2,3588</b>	117940	19,116	0,000138
<b>2,5106</b>	125530	20,919	0,000149
<b>2,7384</b>	136920	26,108	0,000180
<b>3</b>	150000	37,858	0,000251
<b>3,05</b>	152500	40,591	0,000268
<b>3,1</b>	155000	43,495	0,000286
<b>3,175</b>	158750	47,819	0,000313
<b>3,2875</b>	164380	53,254	0,000346
<b>3,4562</b>	172810	60,411	0,000391
<b>3,7094</b>	185470	70,192	0,000451
<b>3,7388</b>	186940	71,021	0,000456
<b>3,7682</b>	188410	71,861	0,000461
<b>3,7977</b>	189880	73,525	0,000472
<b>3,8124</b>	190620	73,885	0,000474
<b>3,8153</b>	190770	73,963	0,000474

<b>Tegangan-Regangan Baut 4</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
<b>0</b>	0	0	0,00000
<b>0,2</b>	10000	12,285	0,00010
<b>0,4</b>	20000	13,754	0,00011
<b>0,535</b>	26750	14,834	0,00012
<b>0,59575</b>	29788	15,306	0,00012
<b>0,6565</b>	32825	15,783	0,00013
<b>0,74762</b>	37381	16,513	0,00013
<b>0,83875</b>	41938	17,261	0,00014
<b>0,91938</b>	45969	17,941	0,00015
<b>1</b>	50000	18,64	0,00015
<b>1,1</b>	55000	19,522	0,00016
<b>1,2</b>	60000	20,423	0,00017
<b>1,35</b>	67500	21,856	0,00018

1,575	78750	24,062	0,00020
1,9125	95625	27,449	0,00022
2	100000	28,33	0,00023
2,1	105000	29,423	0,00024
2,145	107250	29,881	0,00024
2,19	109500	30,351	0,00025
2,2575	112880	31,059	0,00025
2,3588	117940	32,063	0,00026
2,5106	125530	33,678	0,00027
2,7384	136920	37,118	0,00030
3	150000	41,965	0,00034
3,05	152500	43,74	0,00035
3,1	155000	45,67	0,00037
3,175	158750	47,824	0,00038
3,2875	164380	50,708	0,00041
3,4562	172810	54,997	0,00044
3,7094	185470	60,662	0,00049
3,7388	186940	61,468	0,00049
3,7682	188410	62,133	0,00050
3,7977	189880	63	0,00050
3,8124	190620	63,287	0,00051
3,8153	190770	63,347	0,00051

<b>Tegangan-Regangan Baut 5</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,000000
0,2	10000	19,079	0,000130
0,4	20000	31,311	0,000203
0,535	26750	39,913	0,000254
0,59575	29788	43,857	0,000278
0,6565	32825	47,78	0,000302
0,74762	37381	53,671	0,000338
0,83875	41938	59,565	0,000374
0,91938	45969	64,798	0,000406
1	50000	70,21	0,000438
1,1	55000	76,839	0,000479
1,2	60000	83,362	0,000519
1,35	67500	93,195	0,000579
1,575	78750	107,62	0,000669
1,9125	95625	129,25	0,000817
2	100000	134,81	0,000856
2,1	105000	141,41	0,000906
2,145	107250	144,4	0,000929
2,19	109500	147,39	0,000952
2,2575	112880	151,57	0,000985
2,3588	117940	158,28	0,001041

2,5106	125530	169,72	0,001142
2,7384	136920	189,5	0,001346
3	150000	209,04	0,001669
3,05	152500	214,77	0,001785
3,1	155000	223,59	0,001921
3,175	158750	229,58	0,002085
3,2875	164380	235,71	0,002301
3,4562	172810	246,47	0,002676
3,7094	185470	273,46	0,003545
3,7388	186940	276,6	0,003640
3,7682	188410	278,07	0,003730
3,7977	189880	279,8	0,003846
3,8124	190620	280,93	0,003895
3,8153	190770	281,19	0,003906

<b>Tegangan-Regangan Baut 6</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,000000
0,2	10000	21,824	0,000150
0,4	20000	36,431	0,000236
0,535	26750	46,782	0,000298
0,59575	29788	51,667	0,000327
0,6565	32825	56,403	0,000356
0,74762	37381	63,53	0,000398
0,83875	41938	70,677	0,000441
0,91938	45969	77,013	0,000479
1	50000	83,389	0,000518
1,1	55000	91,772	0,000568
1,2	60000	99,693	0,000615
1,35	67500	111,74	0,000687
1,575	78750	129,86	0,000795
1,9125	95625	160,01	0,000976
2	100000	167,02	0,001025
2,1	105000	175,61	0,001084
2,145	107250	179,49	0,001112
2,19	109500	183,23	0,001140
2,2575	112880	188,78	0,001185
2,3588	117940	197,51	0,001260
2,5106	125530	210,3	0,001427
2,7384	136920	225,12	0,001888
3	150000	250,11	0,002814
3,05	152500	256,49	0,003158
3,1	155000	266,2	0,003463
3,175	158750	278,02	0,003862
3,2875	164380	288,18	0,004411



<b>3,4562</b>	172810	299,64	0,005257
<b>3,7094</b>	185470	323,94	0,007292
<b>3,7388</b>	186940	325,5	0,007490
<b>3,7682</b>	188410	328,36	0,007694
<b>3,7977</b>	189880	330,91	0,007926
<b>3,8124</b>	190620	332,23	0,008031
<b>3,8153</b>	190770	332,57	0,008054

<b>Tegangan-Regangan Baut 7</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
<b>0</b>	0	0	0,00000
<b>0,2</b>	10000	10,571	0,00009
<b>0,4</b>	20000	11,425	0,00009
<b>0,535</b>	26750	12,05	0,00010
<b>0,59575</b>	29788	12,346	0,00010
<b>0,6565</b>	32825	12,646	0,00010
<b>0,74762</b>	37381	13,104	0,00010
<b>0,83875</b>	41938	13,576	0,00011
<b>0,91938</b>	45969	13,988	0,00011
<b>1</b>	50000	14,424	0,00011
<b>1,1</b>	55000	14,99	0,00011
<b>1,2</b>	60000	15,547	0,00012
<b>1,35</b>	67500	16,415	0,00012
<b>1,575</b>	78750	17,773	0,00013
<b>1,9125</b>	95625	20,001	0,00015
<b>2</b>	100000	20,621	0,00015
<b>2,1</b>	105000	21,403	0,00016
<b>2,145</b>	107250	21,75	0,00016
<b>2,19</b>	109500	22,113	0,00016
<b>2,2575</b>	112880	22,687	0,00016
<b>2,3588</b>	117940	23,657	0,00017
<b>2,5106</b>	125530	25,575	0,00018
<b>2,7384</b>	136920	30,626	0,00021
<b>3</b>	150000	41,179	0,00027
<b>3,05</b>	152500	45,064	0,00030
<b>3,1</b>	155000	48,561	0,00032
<b>3,175</b>	158750	53,061	0,00035
<b>3,2875</b>	164380	58,661	0,00038
<b>3,4562</b>	172810	66,041	0,00043
<b>3,7094</b>	185470	78,546	0,00051
<b>3,7388</b>	186940	79,506	0,00051
<b>3,7682</b>	188410	80,429	0,00052
<b>3,7977</b>	189880	81,885	0,00053
<b>3,8124</b>	190620	82,326	0,00053
<b>3,8153</b>	190770	82,422	0,00053

<b>Tegangan-Regangan Baut 8</b>			
<b>Model 1 TP 16</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,00000
0,2	10000	3,164	0,00002
0,4	20000	4,8323	0,00004
0,535	26750	6,1402	0,00005
0,59575	29788	6,7531	0,00005
0,6565	32825	7,3638	0,00005
0,74762	37381	8,2759	0,00006
0,83875	41938	9,1833	0,00007
0,91938	45969	9,9882	0,00007
1	50000	10,816	0,00008
1,1	55000	11,848	0,00009
1,2	60000	12,874	0,00010
1,35	67500	14,432	0,00011
1,575	78750	16,811	0,00013
1,9125	95625	20,456	0,00015
2	100000	21,387	0,00016
2,1	105000	22,51	0,00017
2,145	107250	22,988	0,00017
2,19	109500	23,475	0,00017
2,2575	112880	24,208	0,00018
2,3588	117940	25,266	0,00019
2,5106	125530	27,078	0,00020
2,7384	136920	30,419	0,00023
3	150000	35,449	0,00026
3,05	152500	36,839	0,00027
3,1	155000	38,702	0,00029
3,175	158750	40,99	0,00030
3,2875	164380	43,822	0,00033
3,4562	172810	47,793	0,00035
3,7094	185470	52,539	0,00039
3,7388	186940	53,069	0,00039
3,7682	188410	53,683	0,00040
3,7977	189880	55,037	0,00041
3,8124	190620	55,324	0,00041
3,8153	190770	55,381	0,00041

<b>Tegangan-Regangan Baut 1</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0
0,050	18000	28,461	0,000177
0,073	26100	39,495	0,000241

<b>0,095</b>	34200	50,616	0,000306
<b>0,118</b>	42300	62,284	0,000374
<b>0,15125</b>	54450	79,464	0,000475
<b>0,185</b>	66600	96,988	0,000577
<b>0,23563</b>	84825	122,68	0,000728
<b>0,31156</b>	112160	161,2	0,000953
<b>0,3875</b>	139500	197,6	0,001175
<b>0,43876</b>	157950	218,6	0,001357
<b>0,49002</b>	176410	239,24	0,001827
<b>0,54127</b>	194860	255,54	0,002440
<b>0,55857</b>	201090	262,06	0,002803
<b>0,57587</b>	207310	270,79	0,003262
<b>0,59317</b>	213540	277,94	0,003758
<b>0,61912</b>	222880	288,5	0,004598
<b>0,64507</b>	232230	298,11	0,005491
<b>0,68399</b>	246240	313,96	0,006876
<b>0,74238</b>	267260	348,74	0,010325
<b>0,80077</b>	288280	370,98	0,012840
<b>0,84018</b>	302460	391,89	0,014762
<b>0,87959</b>	316650	419,09	0,017065
<b>0,9387</b>	337930	459,1	0,020374
<b>0,96935</b>	348970	480,47	0,022216
<b>1</b>	360000	501,14	0,024103
<b>1,025</b>	369000	511,63	0,025615
<b>1,0437</b>	375750	520,83	0,026783
<b>1,0625</b>	382500	532,25	0,027989
<b>1,0906</b>	392630	549,55	0,029851
<b>1,1187</b>	402750	559,9	0,031663
<b>1,1609</b>	417940	580,24	0,034527
<b>1,2242</b>	440720	616,34	0,039017
<b>1,2875</b>	463500	651,2	0,043614
<b>1,3508</b>	486280	686,06	0,048300
<b>1,4457</b>	520450	736,43	0,055436
<b>1,5098</b>	543520	771,32	0,060356
<b>1,5738</b>	566590	804,43	0,065314
<b>1,6379</b>	589650	838,08	0,070335
<b>1,734</b>	624250	887,8	0,077906
<b>1,8301</b>	658850	937,14	0,085511
<b>1,9151</b>	689420	981,04	0,092271
<b>2</b>	720000	1023,9	0,099030
<b>2,025</b>	729000	1036,6	0,101020
<b>2,0306</b>	731030	1039,5	0,101470
<b>2,0362</b>	733050	1042,4	0,101920
<b>2,0447</b>	736090	1046,7	0,102590
<b>2,0573</b>	740640	1053,2	0,103600
<b>2,0763</b>	747480	1062,7	0,105110

2,1048	757730	1077,4	0,107380
2,1475	773110	1099,3	0,110790
2,2116	796170	1131,4	0,115900
2,3077	830770	1180,4	0,123580
2,3726	854130	1213,5	0,128760
2,4374	877480	1246,6	0,133940
2,5348	912510	1296,1	0,141700
2,6004	936160	1329,4	0,146950
2,6661	959800	1362,7	0,152190
2,7647	995270	1412,5	0,160030
2,9124	1048500	1485,8	0,171780
3	1080000	1529,8	0,178730
3,05	1098000	1554,9	0,182700
3,0669	1104100	1563,4	0,184040
3,0838	1110200	1571,8	0,185390
3,1006	1116200	1580,3	0,186730
3,112	1120300	1586,1	0,187630
3,1234	1124400	1591,8	0,188540
3,1405	1130600	1600,3	0,189900
3,1661	1139800	1613,2	0,191940
3,2046	1153600	1632,8	0,195040
3,243	1167500	1652	0,198080
3,3007	1188200	1680	0,202640
3,3872	1219400	1723,2	0,209510
3,5169	1266100	1788	0,219800
3,7115	1336200	1884,1	0,235230
3,8413	1382900	1948,7	0,245540
3,9207	1411400	1988,1	0,251840
4	1440000	2027,4	0,258130

<b>Tegangan-Regangan Baut 2</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
<b>0</b>	0	0	0
<b>0,050</b>	18000	18,368	0,000115
<b>0,073</b>	26100	25,276	0,000155
<b>0,095</b>	34200	32,235	0,000196
<b>0,118</b>	42300	39,475	0,000238
<b>0,15125</b>	54450	50,321	0,000302
<b>0,185</b>	66600	61,151	0,000366
<b>0,23563</b>	84825	77,451	0,000462

<b>0,31156</b>	112160	101,52	0,000604
<b>0,3875</b>	139500	125,58	0,000746
<b>0,43876</b>	157950	143,27	0,000850
<b>0,49002</b>	176410	173,44	0,001028
<b>0,54127</b>	194860	206,75	0,001254
<b>0,55857</b>	201090	219,66	0,001405
<b>0,57587</b>	207310	235,33	0,001693
<b>0,59317</b>	213540	244,2	0,002004
<b>0,61912</b>	222880	256,72	0,002543
<b>0,64507</b>	232230	266,11	0,003102
<b>0,68399</b>	246240	278,67	0,003973
<b>0,74238</b>	267260	304,69	0,006194
<b>0,80077</b>	288280	319,97	0,007779
<b>0,84018</b>	302460	331,61	0,008866
<b>0,87959</b>	316650	342,08	0,010098
<b>0,9387</b>	337930	357,27	0,011737
<b>0,96935</b>	348970	366,9	0,012630
<b>1</b>	360000	377,67	0,013561
<b>1,025</b>	369000	387,35	0,014333
<b>1,0437</b>	375750	394,52	0,014913
<b>1,0625</b>	382500	402,35	0,015516
<b>1,0906</b>	392630	414,54	0,016455
<b>1,1187</b>	402750	426,92	0,017416
<b>1,1609</b>	417940	445,63	0,018909
<b>1,2242</b>	440720	473,87	0,021262
<b>1,2875</b>	463500	496,79	0,023658
<b>1,3508</b>	486280	514,34	0,026078
<b>1,4457</b>	520450	542,25	0,029869
<b>1,5098</b>	543520	563	0,032561
<b>1,5738</b>	566590	582,39	0,035295
<b>1,6379</b>	589650	604,22	0,038105
<b>1,734</b>	624250	636,82	0,042391
<b>1,8301</b>	658850	668,51	0,046734
<b>1,9151</b>	689420	696,36	0,050619
<b>2</b>	720000	724,04	0,054524
<b>2,025</b>	729000	731,63	0,055673
<b>2,0306</b>	731030	733,46	0,055932
<b>2,0362</b>	733050	735,29	0,056192
<b>2,0447</b>	736090	738,03	0,056581
<b>2,0573</b>	740640	742,14	0,057166
<b>2,0763</b>	747480	747,77	0,058039
<b>2,1048</b>	757730	756,18	0,059351
<b>2,1475</b>	773110	769,93	0,061337

2,2116	796170	790,54	0,064332
2,3077	830770	819,95	0,068824
2,3726	854130	839,97	0,071871
2,4374	877480	860,21	0,074930
2,5348	912510	890,28	0,079528
2,6004	936160	910,52	0,082644
2,6661	959800	930,67	0,085752
2,7647	995270	960,92	0,090420
2,9124	1048500	1006,2	0,097418
3	1080000	1032,5	0,101550
3,05	1098000	1047,4	0,103920
3,0669	1104100	1052,2	0,104710
3,0838	1110200	1057,3	0,105510
3,1006	1116200	1062,4	0,106320
3,112	1120300	1065,9	0,106860
3,1234	1124400	1069,3	0,107400
3,1405	1130600	1074,5	0,108210
3,1661	1139800	1081,7	0,109430
3,2046	1153600	1093,6	0,111310
3,243	1167500	1105	0,113110
3,3007	1188200	1122,3	0,115830
3,3872	1219400	1147,4	0,119910
3,5169	1266100	1186,1	0,126020
3,7115	1336200	1243,9	0,135180
3,8413	1382900	1282,5	0,141290
3,9207	1411400	1305,9	0,145020
4	1440000	1329,4	0,148740

<b>Tegangan-Regangan Baut 3</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0
0,050	18000	10,427	0,000083
0,073	26100	10,663	0,000085
0,095	34200	10,956	0,000087
0,118	42300	11,321	0,000090
0,15125	54450	11,903	0,000094
0,185	66600	12,557	0,000099
0,23563	84825	13,56	0,000106

<b>0,31156</b>	112160	15,14	0,000117
<b>0,3875</b>	139500	16,81	0,000129
<b>0,43876</b>	157950	18,165	0,000139
<b>0,49002</b>	176410	20,49	0,000154
<b>0,54127</b>	194860	23,449	0,000172
<b>0,55857</b>	201090	24,983	0,000180
<b>0,57587</b>	207310	28,044	0,000197
<b>0,59317</b>	213540	31,349	0,000215
<b>0,61912</b>	222880	38,01	0,000253
<b>0,64507</b>	232230	45,326	0,000297
<b>0,68399</b>	246240	55,767	0,000358
<b>0,74238</b>	267260	79,225	0,000493
<b>0,80077</b>	288280	94,344	0,000582
<b>0,84018</b>	302460	100,99	0,000621
<b>0,87959</b>	316650	107,14	0,000656
<b>0,9387</b>	337930	113,36	0,000692
<b>0,96935</b>	348970	116,08	0,000708
<b>1</b>	360000	118,99	0,000725
<b>1,025</b>	369000	121,66	0,000741
<b>1,0437</b>	375750	123,81	0,000753
<b>1,0625</b>	382500	125,87	0,000765
<b>1,0906</b>	392630	129,19	0,000785
<b>1,1187</b>	402750	132,51	0,000804
<b>1,1609</b>	417940	137,76	0,000835
<b>1,2242</b>	440720	145,11	0,000881
<b>1,2875</b>	463500	153,39	0,000934
<b>1,3508</b>	486280	161,56	0,000989
<b>1,4457</b>	520450	174,7	0,001083
<b>1,5098</b>	543520	183,58	0,001148
<b>1,5738</b>	566590	192,61	0,001219
<b>1,6379</b>	589650	200,95	0,001295
<b>1,734</b>	624250	211,6	0,001411
<b>1,8301</b>	658850	221,02	0,001534
<b>1,9151</b>	689420	228,64	0,001657
<b>2</b>	720000	235,24	0,001785
<b>2,025</b>	729000	237,26	0,001820
<b>2,0306</b>	731030	237,75	0,001829
<b>2,0362</b>	733050	237,91	0,001835
<b>2,0447</b>	736090	238,59	0,001849
<b>2,0573</b>	740640	239,26	0,001867
<b>2,0763</b>	747480	240,46	0,001895
<b>2,1048</b>	757730	242,55	0,001941
<b>2,1475</b>	773110	245,28	0,002008

2,2116	796170	249,45	0,002113
2,3077	830770	253,79	0,002263
2,3726	854130	256,69	0,002367
2,4374	877480	260,04	0,002476
2,5348	912510	264,27	0,002638
2,6004	936160	271,56	0,002749
2,6661	959800	275,39	0,002862
2,7647	995270	280,23	0,003024
2,9124	1048500	287,47	0,003283
3	1080000	290,49	0,003435
3,05	1098000	292,37	0,003528
3,0669	1104100	293,15	0,003560
3,0838	1110200	293,98	0,003591
3,1006	1116200	294,14	0,003619
3,112	1120300	294,5	0,003638
3,1234	1124400	295,03	0,003659
3,1405	1130600	295,84	0,003689
3,1661	1139800	296,93	0,003741
3,2046	1153600	300,57	0,003867
3,243	1167500	304,94	0,003933
3,3007	1188200	309,07	0,004022
3,3872	1219400	313,83	0,004180
3,5169	1266100	318,08	0,004406
3,7115	1336200	324,35	0,004755
3,8413	1382900	328,93	0,004998
3,9207	1411400	331,17	0,005138
4	1440000	333,79	0,005294

<b>Tegangan-Regangan Baut 4</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,00000
0,050	18000	13,285	0,00011
0,073	26100	13,952	0,00011
0,095	34200	14,694	0,00012
0,118	42300	15,472	0,00013
0,15125	54450	16,687	0,00014
0,185	66600	17,979	0,00015
0,23563	84825	19,964	0,00016
0,31156	112160	23,149	0,00019
0,3875	139500	26,531	0,00022



<b>0,43876</b>	157950	29,127	0,00024
<b>0,49002</b>	176410	32,426	0,00026
<b>0,54127</b>	194860	36,235	0,00029
<b>0,55857</b>	201090	37,257	0,00030
<b>0,57587</b>	207310	39,105	0,00031
<b>0,59317</b>	213540	40,405	0,00032
<b>0,61912</b>	222880	43,478	0,00035
<b>0,64507</b>	232230	47,094	0,00038
<b>0,68399</b>	246240	50,745	0,00040
<b>0,74238</b>	267260	54,997	0,00044
<b>0,80077</b>	288280	60,211	0,00048
<b>0,84018</b>	302460	63,479	0,00050
<b>0,87959</b>	316650	63,974	0,00051
<b>0,9387</b>	337930	68,068	0,00054
<b>0,96935</b>	348970	69,111	0,00055
<b>1</b>	360000	71,262	0,00056
<b>1,025</b>	369000	73,046	0,00058
<b>1,0437</b>	375750	74,411	0,00059
<b>1,0625</b>	382500	75,785	0,00060
<b>1,0906</b>	392630	77,774	0,00062
<b>1,1187</b>	402750	79,89	0,00063
<b>1,1609</b>	417940	83,154	0,00066
<b>1,2242</b>	440720	86,756	0,00068
<b>1,2875</b>	463500	92,163	0,00072
<b>1,3508</b>	486280	97,57	0,00077
<b>1,4457</b>	520450	105,96	0,00084
<b>1,5098</b>	543520	112,76	0,00090
<b>1,5738</b>	566590	118,62	0,00095
<b>1,6379</b>	589650	123,71	0,00100
<b>1,734</b>	624250	133,24	0,00110
<b>1,8301</b>	658850	141,17	0,00122
<b>1,9151</b>	689420	147,17	0,00137
<b>2</b>	720000	150,48	0,00152
<b>2,025</b>	729000	151,93	0,00158
<b>2,0306</b>	731030	151,27	0,00159
<b>2,0362</b>	733050	151,64	0,00160
<b>2,0447</b>	736090	152,19	0,00162
<b>2,0573</b>	740640	152,21	0,00165
<b>2,0763</b>	747480	152,08	0,00168
<b>2,1048</b>	757730	153,81	0,00176
<b>2,1475</b>	773110	156,23	0,00187
<b>2,2116</b>	796170	159,89	0,00204

2,3077	830770	161,85	0,00228
2,3726	854130	164,55	0,00247
2,4374	877480	167,15	0,00265
2,5348	912510	171,91	0,00293
2,6004	936160	174,73	0,00313
2,6661	959800	176,73	0,00331
2,7647	995270	181,42	0,00361
2,9124	1048500	187,49	0,00405
3	1080000	190,87	0,00431
3,05	1098000	191,63	0,00445
3,0669	1104100	191,75	0,00449
3,0838	1110200	192,6	0,00455
3,1006	1116200	193,47	0,00460
3,112	1120300	194,05	0,00464
3,1234	1124400	194,41	0,00467
3,1405	1130600	195,06	0,00472
3,1661	1139800	195,6	0,00479
3,2046	1153600	197,36	0,00489
3,243	1167500	198,7	0,00500
3,3007	1188200	200,02	0,00517
3,3872	1219400	203,28	0,00544
3,5169	1266100	208,11	0,00585
3,7115	1336200	216,02	0,00647
3,8413	1382900	222,03	0,00690
3,9207	1411400	224,37	0,00715
4	1440000	227,96	0,00741

<b>Tegangan-Regangan Baut 5</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,000000
0,050	18000	28,165	0,000187
0,073	26100	36,736	0,000238
0,095	34200	45,445	0,000291
0,118	42300	54,294	0,000345
0,15125	54450	67,932	0,000429
0,185	66600	81,518	0,000512
0,23563	84825	101,85	0,000638
0,31156	112160	132,28	0,000826

<b>0,3875</b>	139500	161,91	0,001021
<b>0,43876</b>	157950	180,71	0,001178
<b>0,49002</b>	176410	196,72	0,001580
<b>0,54127</b>	194860	209,42	0,002157
<b>0,55857</b>	201090	215,59	0,002440
<b>0,57587</b>	207310	223,69	0,002840
<b>0,59317</b>	213540	228,87	0,003242
<b>0,61912</b>	222880	241,39	0,004033
<b>0,64507</b>	232230	255,27	0,005006
<b>0,68399</b>	246240	271,46	0,006436
<b>0,74238</b>	267260	297,46	0,008840
<b>0,80077</b>	288280	319,84	0,011071
<b>0,84018</b>	302460	337,51	0,012748
<b>0,87959</b>	316650	363,56	0,015345
<b>0,9387</b>	337930	400,54	0,018358
<b>0,96935</b>	348970	420,77	0,020069
<b>1</b>	360000	440,44	0,021827
<b>1,025</b>	369000	453,02	0,023259
<b>1,0437</b>	375750	460,37	0,024337
<b>1,0625</b>	382500	469,7	0,025446
<b>1,0906</b>	392630	483,33	0,027139
<b>1,1187</b>	402750	495,57	0,028838
<b>1,1609</b>	417940	513,28	0,031443
<b>1,2242</b>	440720	542,74	0,035535
<b>1,2875</b>	463500	574,28	0,039772
<b>1,3508</b>	486280	605,59	0,044074
<b>1,4457</b>	520450	652,79	0,050608
<b>1,5098</b>	543520	684,39	0,055061
<b>1,5738</b>	566590	714,86	0,059533
<b>1,6379</b>	589650	745,88	0,064064
<b>1,734</b>	624250	790,78	0,070902
<b>1,8301</b>	658850	834,53	0,077776
<b>1,9151</b>	689420	874,44	0,083905
<b>2</b>	720000	913,83	0,090040
<b>2,025</b>	729000	925,59	0,091855
<b>2,0306</b>	731030	928,23	0,092264
<b>2,0362</b>	733050	930,88	0,092672
<b>2,0447</b>	736090	934,85	0,093285
<b>2,0573</b>	740640	940,8	0,094205
<b>2,0763</b>	747480	949,73	0,095585
<b>2,1048</b>	757730	963,12	0,097655
<b>2,1475</b>	773110	983,21	0,100760

2,2116	796170	1013,4	0,105430
2,3077	830770	1058,6	0,112460
2,3726	854130	1089,1	0,117210
2,4374	877480	1119,6	0,121970
2,5348	912510	1164,2	0,129110
2,6004	936160	1195	0,133940
2,6661	959800	1224,3	0,138760
2,7647	995270	1270,5	0,146030
2,9124	1048500	1339,4	0,156970
3	1080000	1380,5	0,163470
3,05	1098000	1403,2	0,167160
3,0669	1104100	1411,1	0,168410
3,0838	1110200	1419	0,169670
3,1006	1116200	1426,9	0,170920
3,112	1120300	1432,3	0,171770
3,1234	1124400	1437,6	0,172610
3,1405	1130600	1445,6	0,173880
3,1661	1139800	1457,7	0,175800
3,2046	1153600	1475,9	0,178680
3,243	1167500	1493,8	0,181540
3,3007	1188200	1520,3	0,185810
3,3872	1219400	1560,2	0,192270
3,5169	1266100	1620,9	0,201960
3,7115	1336200	1712,1	0,216540
3,8413	1382900	1772	0,226260
3,9207	1411400	1809,1	0,232210
4	1440000	1846,1	0,238160

<b>Tegangan-Regangan Baut 6</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,000000
0,050	18000	23,315	0,000161
0,073	26100	29,313	0,000196
0,095	34200	35,693	0,000233
0,118	42300	42,176	0,000271
0,15125	54450	52,327	0,000331
0,185	66600	62,695	0,000392
0,23563	84825	77,918	0,000482

<b>0,31156</b>	112160	101,47	0,000621
<b>0,3875</b>	139500	124,36	0,000756
<b>0,43876</b>	157950	141,16	0,000856
<b>0,49002</b>	176410	172,74	0,001042
<b>0,54127</b>	194860	203,73	0,001262
<b>0,55857</b>	201090	212,53	0,001409
<b>0,57587</b>	207310	220,61	0,001668
<b>0,59317</b>	213540	227,22	0,001942
<b>0,61912</b>	222880	239,41	0,002527
<b>0,64507</b>	232230	259,95	0,003193
<b>0,68399</b>	246240	285,95	0,004358
<b>0,74238</b>	267260	305,15	0,006136
<b>0,80077</b>	288280	320,29	0,007684
<b>0,84018</b>	302460	331,04	0,008738
<b>0,87959</b>	316650	344,6	0,010301
<b>0,9387</b>	337930	359,09	0,011906
<b>0,96935</b>	348970	369,43	0,012807
<b>1</b>	360000	380,48	0,013743
<b>1,025</b>	369000	390,44	0,014523
<b>1,0437</b>	375750	397,62	0,015108
<b>1,0625</b>	382500	405,51	0,015716
<b>1,0906</b>	392630	418,01	0,016689
<b>1,1187</b>	402750	430,51	0,017667
<b>1,1609</b>	417940	449,21	0,019203
<b>1,2242</b>	440720	477,73	0,021623
<b>1,2875</b>	463500	498,05	0,024063
<b>1,3508</b>	486280	519,02	0,026610
<b>1,4457</b>	520450	548,92	0,030599
<b>1,5098</b>	543520	567,85	0,033380
<b>1,5738</b>	566590	589,38	0,036245
<b>1,6379</b>	589650	612,38	0,039174
<b>1,734</b>	624250	646,41	0,043650
<b>1,8301</b>	658850	679,07	0,048179
<b>1,9151</b>	689420	707,83	0,052222
<b>2</b>	720000	736,28	0,056276
<b>2,025</b>	729000	744,74	0,057469
<b>2,0306</b>	731030	746,64	0,057738
<b>2,0362</b>	733050	748,54	0,058007
<b>2,0447</b>	736090	751,38	0,058411
<b>2,0573</b>	740640	755,66	0,059018
<b>2,0763</b>	747480	760,6	0,059916
<b>2,1048</b>	757730	770,11	0,061282

2,1475	773110	783,67	0,063329
2,2116	796170	804,41	0,066424
2,3077	830770	835,94	0,071069
2,3726	854130	856,86	0,074215
2,4374	877480	877,76	0,077370
2,5348	912510	908,84	0,082114
2,6004	936160	929,73	0,085321
2,6661	959800	950,57	0,088523
2,7647	995270	981,77	0,093329
2,9124	1048500	1028,3	0,100560
3	1080000	1055,5	0,104830
3,05	1098000	1070	0,107250
3,0669	1104100	1075,3	0,108070
3,0838	1110200	1080,5	0,108890
3,1006	1116200	1085,8	0,109710
3,112	1120300	1089,3	0,110260
3,1234	1124400	1092,9	0,110810
3,1405	1130600	1098,2	0,111640
3,1661	1139800	1106,2	0,112900
3,2046	1153600	1118,3	0,114790
3,243	1167500	1130,2	0,116650
3,3007	1188200	1147,9	0,119440
3,3872	1219400	1174,7	0,123640
3,5169	1266100	1212,7	0,129890
3,7115	1336200	1272,4	0,139300
3,8413	1382900	1312,2	0,145580
3,9207	1411400	1336,4	0,149400
4	1440000	1360,7	0,153250

<b>Tegangan-Regangan Baut 7</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,00000
0,050	18000	11,173	0,00009
0,073	26100	11,479	0,00009
0,095	34200	11,82	0,00009
0,118	42300	12,197	0,00010
0,15125	54450	12,817	0,00010
0,185	66600	13,471	0,00011

<b>0,23563</b>	84825	14,477	0,00011
<b>0,31156</b>	112160	15,973	0,00012
<b>0,3875</b>	139500	17,578	0,00014
<b>0,43876</b>	157950	18,863	0,00015
<b>0,49002</b>	176410	20,925	0,00016
<b>0,54127</b>	194860	23,39	0,00018
<b>0,55857</b>	201090	25,116	0,00019
<b>0,57587</b>	207310	27,962	0,00020
<b>0,59317</b>	213540	30,845	0,00022
<b>0,61912</b>	222880	36,382	0,00025
<b>0,64507</b>	232230	44,032	0,00029
<b>0,68399</b>	246240	55,903	0,00036
<b>0,74238</b>	267260	75,351	0,00047
<b>0,80077</b>	288280	89,728	0,00056
<b>0,84018</b>	302460	95,89	0,00059
<b>0,87959</b>	316650	104,18	0,00064
<b>0,9387</b>	337930	109,18	0,00067
<b>0,96935</b>	348970	111,61	0,00069
<b>1</b>	360000	114,26	0,00070
<b>1,025</b>	369000	116,72	0,00072
<b>1,0437</b>	375750	118,71	0,00073
<b>1,0625</b>	382500	120,71	0,00074
<b>1,0906</b>	392630	123,98	0,00076
<b>1,1187</b>	402750	127,03	0,00078
<b>1,1609</b>	417940	131,85	0,00080
<b>1,2242</b>	440720	139,18	0,00085
<b>1,2875</b>	463500	147,32	0,00090
<b>1,3508</b>	486280	155,46	0,00095
<b>1,4457</b>	520450	167,51	0,00104
<b>1,5098</b>	543520	175,77	0,00110
<b>1,5738</b>	566590	183,29	0,00115
<b>1,6379</b>	589650	190,56	0,00121
<b>1,734</b>	624250	201,75	0,00132
<b>1,8301</b>	658850	210,78	0,00142
<b>1,9151</b>	689420	219,09	0,00153
<b>2</b>	720000	226,25	0,00164
<b>2,025</b>	729000	228,06	0,00167
<b>2,0306</b>	731030	228,59	0,00168
<b>2,0362</b>	733050	229,11	0,00169
<b>2,0447</b>	736090	229,88	0,00170
<b>2,0573</b>	740640	231,04	0,00172
<b>2,0763</b>	747480	232,78	0,00175

2,1048	757730	234,47	0,00179
2,1475	773110	236,93	0,00185
2,2116	796170	244,53	0,00195
2,3077	830770	250,13	0,00209
2,3726	854130	253,77	0,00219
2,4374	877480	256,26	0,00229
2,5348	912510	260,64	0,00244
2,6004	936160	264,12	0,00255
2,6661	959800	266,53	0,00266
2,7647	995270	270,27	0,00281
2,9124	1048500	283,88	0,00305
3	1080000	290,08	0,00319
3,05	1098000	292,77	0,00327
3,0669	1104100	293,56	0,00330
3,0838	1110200	293,66	0,00332
3,1006	1116200	294,6	0,00335
3,112	1120300	295,21	0,00336
3,1234	1124400	295,81	0,00338
3,1405	1130600	296,67	0,00341
3,1661	1139800	300,17	0,00347
3,2046	1153600	302,72	0,00353
3,243	1167500	304,65	0,00359
3,3007	1188200	306,86	0,00368
3,3872	1219400	310,44	0,00382
3,5169	1266100	315,37	0,00403
3,7115	1336200	320,71	0,00433
3,8413	1382900	325,47	0,00454
3,9207	1411400	329,3	0,00467
4	1440000	332,42	0,00481

<b>Tegangan-Regangan Baut 8</b>			
<b>Model 1 TP 20</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Beban</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Regangan</b>
<b>S</b>	<b>N</b>	<b>MPA</b>	<b>mm</b>
0	0	0	0,00000
0,050	18000	12,143	0,00010
0,073	26100	12,878	0,00010
0,095	34200	13,67	0,00011
0,118	42300	14,463	0,00012
0,15125	54450	15,687	0,00013



<b>0,185</b>	66600	16,958	0,00014
<b>0,23563</b>	84825	18,944	0,00015
<b>0,31156</b>	112160	22,1	0,00018
<b>0,3875</b>	139500	25,5	0,00021
<b>0,43876</b>	157950	28,03	0,00023
<b>0,49002</b>	176410	31,204	0,00025
<b>0,54127</b>	194860	34,582	0,00028
<b>0,55857</b>	201090	36,527	0,00029
<b>0,57587</b>	207310	38,853	0,00031
<b>0,59317</b>	213540	40,74	0,00033
<b>0,61912</b>	222880	42,31	0,00034
<b>0,64507</b>	232230	44,413	0,00036
<b>0,68399</b>	246240	47,468	0,00038
<b>0,74238</b>	267260	49,35	0,00039
<b>0,80077</b>	288280	53,482	0,00043
<b>0,84018</b>	302460	56,082	0,00045
<b>0,87959</b>	316650	62,839	0,00050
<b>0,9387</b>	337930	66,868	0,00053
<b>0,96935</b>	348970	68,966	0,00055
<b>1</b>	360000	70,182	0,00056
<b>1,025</b>	369000	71,926	0,00057
<b>1,0437</b>	375750	73,244	0,00058
<b>1,0625</b>	382500	74,569	0,00059
<b>1,0906</b>	392630	76,82	0,00061
<b>1,1187</b>	402750	78,866	0,00062
<b>1,1609</b>	417940	81,996	0,00065
<b>1,2242</b>	440720	86,433	0,00068
<b>1,2875</b>	463500	91,262	0,00072
<b>1,3508</b>	486280	95,205	0,00075
<b>1,4457</b>	520450	103,85	0,00082
<b>1,5098</b>	543520	110,43	0,00088
<b>1,5738</b>	566590	117,21	0,00094
<b>1,6379</b>	589650	123,2	0,00100
<b>1,734</b>	624250	133,4	0,00110
<b>1,8301</b>	658850	143,25	0,00122
<b>1,9151</b>	689420	151,59	0,00138
<b>2</b>	720000	152,17	0,00150
<b>2,025</b>	729000	153,31	0,00156
<b>2,0306</b>	731030	153,72	0,00158
<b>2,0362</b>	733050	154,09	0,00159
<b>2,0447</b>	736090	154,77	0,00161
<b>2,0573</b>	740640	153,68	0,00162

<b>2,0763</b>	747480	154,77	0,00167
<b>2,1048</b>	757730	154,11	0,00173
<b>2,1475</b>	773110	156,04	0,00183
<b>2,2116</b>	796170	158,7	0,00199
<b>2,3077</b>	830770	161,81	0,00224
<b>2,3726</b>	854130	164,22	0,00242
<b>2,4374</b>	877480	167,17	0,00261
<b>2,5348</b>	912510	171,65	0,00289
<b>2,6004</b>	936160	174,34	0,00308
<b>2,6661</b>	959800	176,91	0,00327
<b>2,7647</b>	995270	181,06	0,00355
<b>2,9124</b>	1048500	185,83	0,00396
<b>3</b>	1080000	188,75	0,00420
<b>3,05</b>	1098000	191,64	0,00435
<b>3,0669</b>	1104100	191,99	0,00439
<b>3,0838</b>	1110200	192,95	0,00444
<b>3,1006</b>	1116200	193,92	0,00450
<b>3,112</b>	1120300	194,59	0,00453
<b>3,1234</b>	1124400	195,27	0,00457
<b>3,1405</b>	1130600	195,98	0,00462
<b>3,1661</b>	1139800	196,87	0,00469
<b>3,2046</b>	1153600	198,43	0,00480
<b>3,243</b>	1167500	200,65	0,00491
<b>3,3007</b>	1188200	203,47	0,00509
<b>3,3872</b>	1219400	207,74	0,00536
<b>3,5169</b>	1266100	214,32	0,00578
<b>3,7115</b>	1336200	225,53	0,00642
<b>3,8413</b>	1382900	232,11	0,00685
<b>3,9207</b>	1411400	236,97	0,00712
<b>4</b>	1440000	238,91	0,00736





FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Mochtar Basri, BA No. 3 20238 Telp (061)6619056

Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rector@umsu.ac.id](mailto:rector@umsu.ac.id)

NAMA : NIKY ARIANTO

NPM : 1607210094

JUDUL : PERBANDINGAN PENGARUH TATA LETAK SAMBUNGAN  
BAUT PADA BALOK-KOLOM STRUKTUR BAJA

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
①	2/11-2019	- Buat Model yang akan dianalisis <sup>Baja</sup> - Studi yg pernah dilakukan	
②	4/1-2019	- Buat model <del>agar</del> dgn mesh untuk las. - Lihat literatur agar memperoleh referensi	
3.	11/01 2019	- Buat Pembantuan analisis dengan metode von misses pada baut - Buat tabel baut von misses - Sajikan Model Stiffner	

DOSEN PEMBIMBING,

( TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T, M.T )



**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Jalan Kapten Muchtar Basri, BA No. 3 20238 Telp (061)6619056

Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rector@umsu.ac.id](mailto:rector@umsu.ac.id)

**NAMA : NIKY ARIANTO**  
**NPM : 1607210094**  
**JUDUL : PERBANDINGAN PENGARUH TATA LETAK SAMBUNGAN  
 BAUT PADA BALOK KOLOM STRUKTUR BAJA**

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
4.	22/Januari/2020 Rabu	- Cari nilai newton Pappas - Perbaiki Rumus Von Mises - Perbaiki tegangan pada Kombinasi terjadi letak atau plastik.	
5.	22/Januari/2020 Rabu	- Kerjakan bab. I, II, dan III	
6.	27/Januari/2020 Senin	- Perbaiki bab III (Spasi, dll) Penulisan dan model	
7.	2/2-2020	- Model profil dibuat Standart Indonesia. 	
8.	24/04 2020	- Kerjakan Simpangan, Palleta.	
9.	25/04 2020	- Lanjutkan torsi dua (pengelasan)	
10.	10/07 2020	- Perbaiki struktur, Dack, ketaha Non Gempa.	

**DOSEN PEMBIMBING,**

**( TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T, M.T )**



FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Muchtar Basri, BA No. 3 20238 Telp (061)6619056  
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rector@umsu.ac.id](mailto:rector@umsu.ac.id)

NAMA : NIKY ARIANTO  
NPM : 1607210094  
JUDUL : PERBANDINGAN PENGARUH TATA LETAK SAMBUNGAN  
BAUT PADA BALOK KOLOM STRUKTUR BAJA

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
11	11 Agustus 2020	- Cari Pasaran Deck Section - Cari Pasaran Shear Connector	
12.	14 Agustus 2020	- Ubah / perbaiki rangka kolom sebagai rangka penahan gempa atau sebagai sistem .	
13.	18 Agustus 2020	Perbaiki Kombinasi pada sistem Rangka Dalam .	
14.	22 Agustus 2020	Lanjutkan Pemodelan	
15.	25 Agustus 2020	Note diertasikan di titik berat ( garis imajiner ) - sertakan , tabel, <del>data</del> data grup	

DOSEN PEMBIMBING,

( TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T, M.T )





FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Muchtar Basri, BA No. 3 20238 Telp (061)6619056

Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rector@umsu.ac.id](mailto:rector@umsu.ac.id)

NAMA : NIKY ARIANTO

NPM : 1607210094

JUDUL : PERBANDINGAN PENGARUH TATA LETAK SAMBUNGAN  
BAUT PADA BALOK KOLOM STRUKTUR BAJA

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
16.	31 Agustus 2020	- Perbaiki dan mencantumkan Cara Penerapan letak beban atau Node pada aplikasi	
17.	12 September 2020	- Pada endplate tampilkan deformasi - tampilkan regangan pada baut - buat grafik regangan & tegangan - Gariskan data regangan & tegangan yang diambil Average - Perbaiki penerapan pembebanan di aplikasi	
18.	16 September 2020	- Hasil Analisis <sup> disesuaikan</sup> <del>terapan</del> <sup>teru</sup> dengan ilmu dasar <del>kesimpulan</del>	
19.	23 September 2020	- Hilangkan deformasi end plate - Perbaiki hasil tegangan geser - tampilkan kekakuan pada hasil - bagaimana pengaruh deformasi - Perbaiki Model 4 baut atar dengan (N1 (James))	

DOSEN PEMBIMBING,

( TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T, M.T )



FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Mochtar Basri, BA No. 3 20238 Telp (061)6619056

Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: [rector@umsu.ac.id](mailto:rector@umsu.ac.id)

NAMA : NIKY ARIANTO

NPM : 1607210094

JUDUL : PERBANDINGAN PENGARUH TATA LETAK BAUT PADA  
SAMBUNGAN BALOK-KOLOM STRUKTUR BAJA

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
20.	27 Oktober 2020	- Tampilkan beban tarik - Perbaiki D/O pada kerakuan	
21.	30 Oktober 2020	- perbaiki klasifikasi - tampilkan gambar bautnya - tampilkan kesimpulan	
22.	02 November 2020	- Perbaiki bab 14 - Perbaiki penomoran	
23	3 Nov 2020	<i>Au Seminar Hasil</i>	

DOSEN PEMBIMBING,

( TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T, M.T )



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama Lengkap : Niky Arianto  
Tempat, Tanggal Lahir : Batam, 06 November 1996  
Alamat : Komp. Nusa Jaya A13 No.3 , Kec. Batam Kota,  
Prov. Kepulauan Riau  
Agama : Islam  
No. Telp : 082268601945  
E-mail : niky.mariato@gmail.com

## RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1607210094  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No 3 Medan 20238

No	Tingkat	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SDN 003 Batam	2009
2	SMP	SMPN 10 Batam	2012
3	SMA	SMAN 4 Batam	2015
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2016 sampai selesai		

