



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

PENGARUH MODEL PLASTISITAS PADA SIMULASI TEGANGAN Pengerolan RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

ACHMAD FAJAR FAISAL
NRP. 2713 100 122

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH MODEL PLASTISITAS PADA SIMULASI TEGANGAN Pengerolan RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

**Achmad Fajar Faisal
NRP 2713 100 122**

**Dosen Pembimbing :
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono, ST., MT**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL141584

***EFFECT OF PLASTICITY MODEL ON
TRUCK RIM STRESS ROLLING PROCESS
SIMULATION WITH FINITE ELEMENT
METHOD***

Achmad Fajar Faisal
NRP 2713 100 122

Advisor :
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

Department of Materials Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH MODEL PLASTISITAS PADA SIMULASI
TEGANGAN Pengerolan RIM VELG TRUK DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ACHMAD FAJAR FAISAL

NRP. 2713 100 122

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D (Pembimbing I)

Alvian Toto Wibisono ST., MT (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH MODEL PLASTISITAS PADA SIMULASI TEGANGAN Pengerolan RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Achmad Fajar Faisal
NRP : 2713100122
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D
Alvian Toto Wibisono ST., MT

Abstrak :

Rim atau velg pada kendaraan seperti truk merupakan kerangka dari sebuah roda yang menahan gaya dan tegangan akibat dari berat kendaraan serta gaya impak dari permukaan jalan. Salah satu proses dalam pembuatan velg adalah pengerolan (*rolling/ roll forming*), yang merupakan proses fleksibel dan hemat gaya serta dapat memproduksi bagian lembaran dengan profil kompleks. Proses pembentukan rim mengalami deformasi serta menghasilkan konsentrasi tegangan akibat proses pengerolan. Oleh karena itu, dilakukan analisis distribusi tegangan dari proses pengerolan rim velg truk untuk melihat konsentrasi tegangan yang dihasilkan. Hasil simulasi dengan menggunakan *software* ANSYS dan menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa distribusi tegangan yang terjadi selama proses pengerolan berlangsung secara berbeda-beda pada tiap waktunya tergantung pada gaya yang diberikan pada permukaan tertentu. Model plastisitas yang digunakan antara lain *bilinear isotropic*, *multilinear isotropic*, dan *nonlinear isotropic*, setiap model plastisitas menunjukkan tren yang hampir sama, dimana *nonlinear* menghasilkan nilai paling rendah pada tegangan Von Mises yang dihasilkan selama proses berlangsung.

Kata Kunci : Plastisitas, *Rolling*, Rim, Distribusi Tegangan, Von Mises.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Effect of Plasticity Model on Truck Rim Stress Rolling Process Simulation with Finite Element Method

Name : Achmad Fajar Faisal
SRN : 2713100122
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D
Alvian Toto Wibisono ST., MT

Abstract :

Rim is the outer edge of a wheel that holding the tire. It makes up the outer circular design of the wheel on which the inside edge of the tire is mounted on vehicles such as automobiles or trucks. One of the process in making a rim is roll forming, that is a flexible process and low force that also could produce a part of sheet with complex profile. Rim forming process itself experienced deformation and resulting in stress concentration due to the rolling process. The result of this simulation which using ANSYS software and finite element method show that stress distribution that occurred during the rolling process occurred differently at every second depends on the force that given to certain surface of the material. Plasticity models that used in this simulation are bilinear isotropic, multilinear isotropic, and nonlinear isotropic, every plasticity model shows more less the same trend, where nonlinear resulting the lowest value in Von Mises stress during the rolling process occurred.

Keyword : Plasticity, Rolling, Rim, Stress Distribution, Von Mises.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Model Plastisitas pada Simulasi Tegangan Pengerolan Rim Velg Truk dengan Metode Elemen Hingga”**. Laporan tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari seluruh pihak, laporan ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ini mengucapkan terimakasih pada beberapa pihak yang memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, yaitu diantaranya :

1. Kedua orang tua, dan keluarga yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi.
2. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., PhD, dan bapak Alvian Toto Wibisono ST., MT selaku dosen pembimbing tugas akhir yang membimbing penulis dalam mengerjakan laporan tugas akhir dari awal hingga akhir dan memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen wali yang mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.

7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013, 2014, dan 2015.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada seluruh pihak yang membaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menulis laporan tugas akhir ini, sehingga penulis menerima kritik dan saran yang dapat membangun serta memperbaiki kekurangan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 14 Juli 2017

Penulis,

Achmad Fajar Faisal

2713100122

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Perilaku Plastis pada Material	8
2.3 Model Plastisitas	9
2.3.1 Model Plastisitas Bilinear Isotropik.....	12
2.3.1 Model Plastisitas Multilinear Isotropik.....	13
2.3.1 Model Plastisitas Nonlinear Isotropik.....	13
2.4 Proses Roll-Bending	15
2.5 <i>Wheels</i>	17
2.5.1 Teori Dasar Kerja Wheel.....	17
2.5.2 Rim Nomenclature	19
2.6 Metode Elemen Hingga	20
2.6.1 Teori Metode Elemen Hingga	20
2.6.2. Ansys Software	26

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	30
3.2	Spesifikasi Material Penelitian.....	31
3.2.1	Material Penelitian.....	31
3.2.2	Geometri Penelitian	31
3.2.3	Geometri Raw Material.....	31
3.3	Peralatan Penelitian	38
3.4	Prosedur Penelitian	38
3.4.1	Pemodelan Rolling Truck Velg	39
3.4.2	Penentuan Element Type	40
3.4.3	Material Properties.....	41
3.4.4	<i>Meshing</i>	42
3.4.5	<i>Boundary Condition</i>	42
3.4.6	Tipe Pembebanan	43
3.4.7	Tipe Analisis.....	43
3.4.8	Validasi Penelitian.....	43
3.5	Langkah Penelitian.....	44
3.6	Variabel Penelitian.....	45
3.7	Rancangan Penelitian.....	45

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Nilai Von Mises Stress pada Proses Pengerolan.....	49
4.1.1	Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Bilinear Isotropic.....	49
4.1.2	Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model Plastisitas Multilinear Isotropic ...	52
4.1.3	Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model Plastisitas Nonlinear Isotropic	55
4.1.4	Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Tiga Metode Model Plastisitas	49
4.2	Nilai Von Mises Stress Pengerolan Velg Truk pada 3 Titik.....	61
4.2.1	Nilai Von Mises Stress dengan Model plastisitas Bilinear Isotropic pada 3 Titik	62

4.2.2	Nilai Von Mises Stress dengan Model plastisitas Multilinear Isotropic pada 3 Titik	64
4.2.3	Nilai Von Mises Stress dengan Model plastisitas Nonlinear Isotropic pada 3 Titik	68
4.2.4	Perbandingan Nilai Von Mises Stress pada Node 996	70
4.2.5	Perbandingan Nilai Von Mises Stress pada Node 6992	71
4.2.6	Perbandingan Nilai Von Mises Stress pada Node 7073	72
4.3	Distribusi Tegangan Von Mises Stress	73
4.3.1	Distribusi Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Bilinear Isotropic	74
4.3.2	Distribusi Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Multilinear Isotropic	77
4.3.1	Distribusi Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Nonlinear Isotropic	81

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	93

DAFTAR PUSTAKAxvii

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perpotongan dan Dimensi dari <i>Wheel Rim</i> (mm).....	5
Gambar 2.2	Perubahan Bentuk Profile dari Pembentukan <i>Wheel Rim</i>	6
Gambar 2.3	Mesin Roll.....	6
Gambar 2.4	Model dari <i>Steel Ring Flaring</i>	7
Gambar 2.5	FEM model dari tahap pertama roll forming dari <i>wheel rim</i>	8
Gambar 2.6	Kurva tegangan regangan untuk baja ulet.....	9
Gambar 2.7	Pengerasan isotropik pada permukaan luluh...	10
Gambar 2.8	Pengerasan kinematik pada permukaan luluh	11
Gambar 2.9	Tegangan-regangan total untuk model plastisitas bilinear isotropik.....	12
Gambar 2.10	Tegangan-regangan total untuk model plastisitas bilinear isotropik.....	13
Gambar 2.11	Tegangan-regangan plastis untuk model plastisitas Voce	14
Gambar 2.12	Ilustrasi Proses Tiga Roll Bender.....	16
Gambar 2.13	Tahap-tahap rolling plate dengan menggunakan empat roller bender.....	17
Gambar 2.14	Tubeless steel wheel	18
Gambar 2.15	<i>Rim-Nomenclature</i>	19
Gambar 2.16	Elemen Bar dengan Dua Nodes	21
Gambar 2.17	Dua Elemen Bar yang Dijepit Kedua Ujung Tepi dengan Diberi Gaya Sebesar P di node kedua.....	21
Gambar 2.18	Meshing pada plate	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Percobaan	30
Gambar 3.2	Tampak Depan Raw Material 6.00	32
Gambar 3.3	Tampak Penuh dari Raw Material 6.00	32

Gambar 3.4	Tampak Roller Atas 6.00	34
Gambar 3.5	Tampak Roller Bawah 6.00	35
Gambar 3.6	Tampak Roller Depan 6.00.....	36
Gambar 3.7	Tampak Roller Belakang 6.00”	37
Gambar 3.8	Diagram Alir Permodelan.....	39
Gambar 3.9	<i>Preferences</i>	40
Gambar 3.10	<i>Element Type</i>	41
Gambar 3.11	<i>Material Properties</i>	41
Gambar 3.12	Hasil Meshing Material	42
Gambar 4.1	Tampak Samping Pemosisian Slab Metal pada Mold Roller ((1) Bull Roll, (2) Exit Roll, (3) Center Roll, (4) Entrance Roll).....	48
Gambar 4.2	Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan bilinear isotropic ...	50
Gambar 4.3	Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan bilinear isotropic. ...	51
Gambar 4.4	Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan <i>multilinear isotropic</i>	53
Gambar 4.5	Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan multilinear isotropic.	54
Gambar 4.6	Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan nonlinear isotropic	56
Gambar 4.7	Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan nonlinear isotropic	57
Gambar 4.8	Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan 3 metode model plastisitas.....	58
Gambar 4.9	Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan 3 metode model plastisitas.....	60

Gambar 4.10	Posisi node 996, 6992, dan 7073 pada slab material.	61
Gambar 4.11	Grafik nilai Von Mises pada Node 996, Node 6992, dan Node 7073 berdasarkan metode bilinear isotropic.	63
Gambar 4.12	Grafik nilai Von Mises pada Node 996, Node 6992, dan Node 7073 berdasarkan metode multilinear isotropic.	66
Gambar 4.13	Grafik nilai Von Mises pada Node 996, Node 6992, dan Node 7073 berdasarkan metode nonlinear isotropic.	69
Gambar 4.14	Grafik perbandingan nilai Von Mises pada Node 996 dengan tiga metode model plastisitas.	70
Gambar 4.15	Grafik perbandingan nilai Von Mises pada Node 6992 dengan tiga metode model plastisitas.	71
Gambar 4.16	Grafik perbandingan nilai Von Mises pada Node 7073 dengan tiga metode model plastisitas.	70
Gambar 4.17	Von Mises Stress pada load step 1 bilinear isotropic	73
Gambar 4.18	Von Mises Stress load step 2 (sub step 40) bilinear isotropic	74
Gambar 4.19	Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 240 dan 514) bilinear isotropik.	76
Gambar 4.20	Von Mises Stress pada load step 1 multilinear. ...	78
Gambar 4.21	Von Mises Stress pada load step 2 multilinear. ...	79
Gambar 4.22	Von Mises Stress pada load step 2 multilinear (sub step 240).	79
Gambar 4.23	Von Mises Stress pada load step 2 multilinear (sub step 420).	80

Gambar 4.24	Von Mises Stress pada load step 1 nonlinear..	81
Gambar 4.25	Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 10) nonlinear..	82
Gambar 4.26	Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 90) nonlinear..	83
Gambar 4.27	Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 164) nonlinear..	84

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel Hasil Penelitian	30
Tabel 3.2	Komposisi Kimia Baja SS400	31
Tabel 3.3	Sifat Mekanik Baja SS400	31
Tabel 3.4	Pembebanan	43
Tabel 4.1	Nilai tegangan maksimum dan minimum pada proses pengerolan menggunakan bilinear isotropic	49
Tabel 4.3	Nilai tegangan maksimum dan minimum pada proses pengerolan menggunakan multilinear isotropic	52
Tabel 4.4	Nilai tegangan maksimum dan minimum pada proses pengerolan menggunakan nonlinear isotropic	55
Tabel 4.5	Nilai tegangan Von Mises pada 3 titik node berdasarkan metode bilinear isotropic	62
Tabel 4.6	Nilai tegangan Von Mises pada 3 titik node berdasarkan multilinear isotropic	65
Tabel 4.7	Nilai tegangan Von Mises pada 3 titik node dengan nonlinear isotropic	68

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu komponen utama dari sebuah kendaraan adalah velg. Velg merupakan tepi luar pada sebuah roda yang menahan ban. Velg membentuk desain bundar pada bagian luar roda yang dimana tepi dalam ban dipasang pada kendaraan seperti mobil, bus, dan truk. *Velg* merupakan bagian dari ban yang memiliki sifat yang lebih kuat terhadap beban tegangan, serta bending momen. Velg truk sendiri terdiri dari bagian *rim* yang berfungsi tempat diletakkannya *tyre*, dan *disc* yang tersambung dengan poros yang berputar.

Terdapat dua jenis proses atau manufaktur velg logam antara lain dengan *casting* dan *cold forming*. Pada proses *cold working*, tegangan akan muncul selama proses berlangsung, dan besar kecilnya tegangan salah satunya dipengaruhi oleh mekanisme pengerasan yang terjadi selama proses tersebut. Perilaku pada berbagai macam logam menggambarkan kemampuannya terhadap regangan permanen yang disebut plastisitas (Sluzalec, 2004). Hal tersebut juga berpengaruh terhadap proses yang terjadi pada manufaktur velg truk.

Metode elemen hingga merupakan salah satu metode numerik yang paling banyak dipakai di dunia teknik. Penggunaannya adalah dengan menyelesaikan suatu permasalahan dengan cara membagi objek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil tersebut yang kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian keseluruhan daerah. Sebuah pendekatan elemen hingga di adaptasi untuk memodelkan *roll-forming* guna menganalisa deformasi pada lembaran; sehingga, kita dapat mengevaluasi desain profil roll, untuk membuat perubahan-perubahan penting dan mengoptimasi mereka. (Brunet, Mguil, & Pol, 1998)

Analisis yang dilakukan pada laporan ini dilakukan pada proses *machining* velg khususnya pada proses pengerollan untuk



BAB I PENDAHULUAN

mengetahui besar tegangan atau stress yang terjadi pada velg sehingga akan mempengaruhi performa velg tersebut. Dalam penelitian ini akan dilakukan sebuah simulasi pengaruh plastisitas terhadap analisa tegangan pada rim velg truk menggunakan *software* ANSYS/Mechanical APDL 17.0.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana stress atau tegangan yang terjadi pada proses pengerollan velg?
- b. Bagaimana pengaruh plastisitas pada stress atau tegangan yang terjadi pada proses pengerollan velg ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang berfungsi sebagai batasan masalah :

- a. Letak posisi roller diasumsikan sesuai dengan keadaan dilapangan.
- b. Kondisi material diasumsikan sesuai dengan standar yang ada.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Menganalisis *stress* atau tegangan yang terjadi pada proses pengerollan velg.
- b. Menganalisis pengaruh plastisitas, pada tegangan yang terjadi pada proses pengerollan velg.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini ditujukan kepada pemerintah, peneliti lain, industri, dan masyarakat, yang dapat diuraikan sebagai berikut:



BAB I PENDAHULUAN

- a. Bagi pemerintah penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan bahwa riset material di bidang manufaktur, terutama di bidang deformasi logam, sangatlah penting untuk dikaji lebih lanjut, dan bahkan direalisasikan.
- b. Bagi peneliti lain (terutama mahasiswa), penelitian ini bermanfaat sebagai tolok ukur penelitian tentang metode elemen hingga pada deformasi logam selanjutnya agar nantinya penelitian ini tidak hanya menjadi bahan koleksi perpustakaan semata. Selain itu, penelitian ini juga dapat digunakan sebagai salah satu sumber belajar dan pengajaran demi pengembangan ke arah yang lebih baik.
- c. Bagi industri yang bergerak di bidang manufaktur, deformasi logam, penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk mewujudkan ladang usaha yang potensial untuk produksi massal suatu produk di bidang otomotif dalam negeri, demi kemajuan teknologi otomotif Indonesia.
- d. Yang terakhir, bagi masyarakat, penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber wawasan untuk pengembangan ilmu pengetahuan di masa mendatang, demi mewujudkan pendidikan Indonesia yang lebih inovatif dan aplikatif.

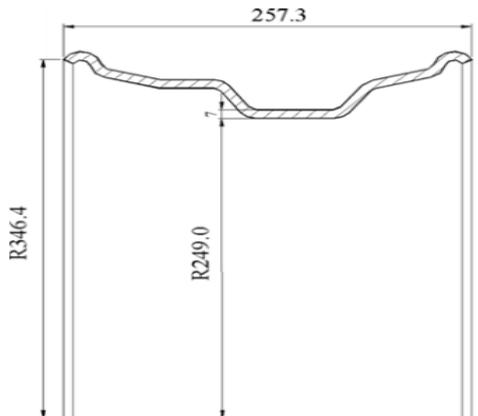


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

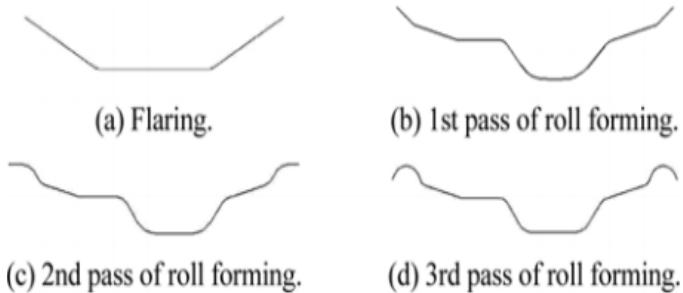
2.1 Penelitian Sebelumnya

Perpotongan axisimetris pada velg roda truk ditunjukkan pada gambar 2.1. Untuk pembentukan *wheel rim*, plat yang berbentuk lembaran mengalami proses *winding* dan *welding* untuk diubah menjadi sebuah bentuk seperti cincin, serta mengalami proses *flaring* di kedua ujungnya sebelum dilakukan proses *rolling* melewati 3 langkah pembentukan roll. Proses *finishing* akan dilakukan sebagai langkah akhir.. (Fang, Gao, & Zhang, 2015)

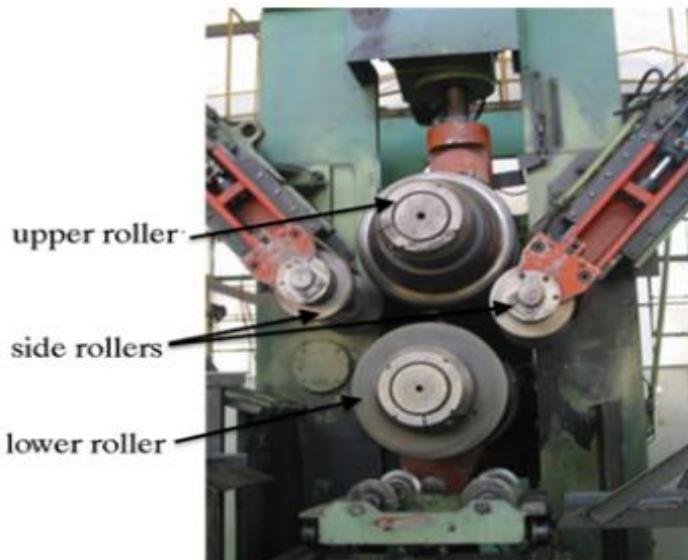


Gambar 2.1. Perpotongan dan Dimensi dari *Wheel Rim* (mm) (Gang Fang, 2015)

Pada gambar 2.2 dibawah ini dapat dilihat bahwa *wheel rim* memiliki profil yang kompleks. Selain itu *wheel rim* yang akan diproses mengikuti posisi roller yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.2. Perubahan Bentuk Profile dari Pembentukan Wheel Rim (Gang Fang, 2015)



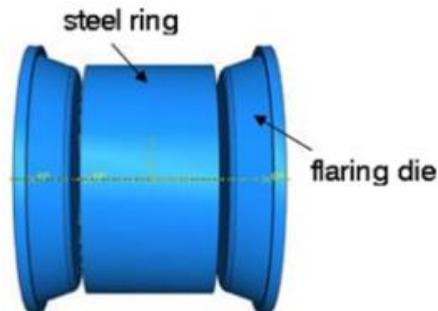
Gambar 2.3 Mesin Roll (Gang Fang, 2015)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

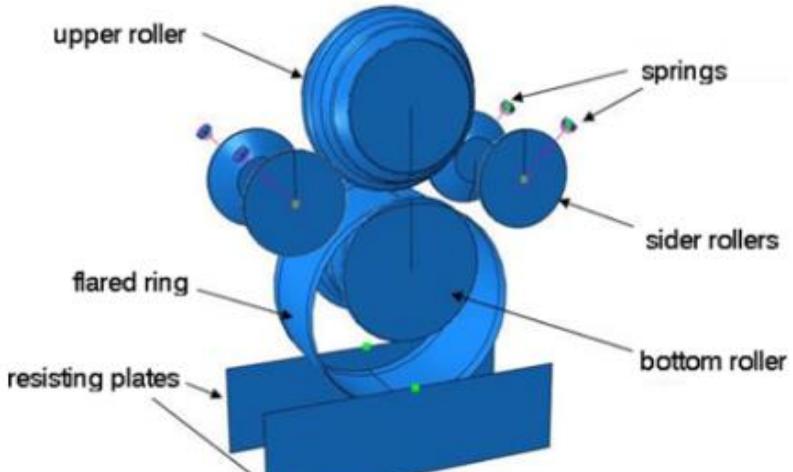
Mempertimbangkan kompleksitas pada profilnya, *wheel rim* harus terbentuk melalui 3 tahapan pengerolan yang terdiri dari *upper roller*, *the lower roller*, dan *side roller*. Roller pembentuk profil memiliki bentuk *convex* pada bagian atas dan *concave* pada bagian bawah sesuai dengan gambar 2.4.

Sebagai permulaan, plat dengan ujung yang telah dipanaskan (*end-flared*) dan berbentuk cincin (*ring-shape*)



Gambar 2.4. Model dari *Steel Ring Flaring*.
(Gang Fang, 2015)

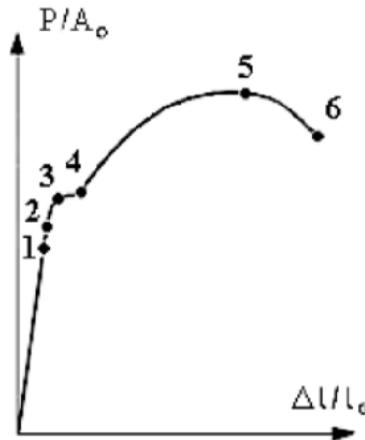
diletakkan pada *lower roller* seperti diilustrasikan pada gambar 2.3. Ketika proses pengerolan dimulai, *lower* dan *upper roller* berotasi. Kemudian, *lower roller* bergerak naik menuju *upper roller*. Terlihat pada gambar 2.5 ketika plat berbentuk cincin di himpit oleh *lower* dan *upper roller*, plat ikut berotasi oleh gaya friksi dengan kecepatan yang sama seperti *lower roller*. *Side roller* ditekan pada plat untuk menghindari goncangan serta ayunan.



Gambar 2.5 FEM Model dari Tahap Pertama *Roll Forming* dari *Wheel Rim* (Gang Fang, 2015)

2.2 Perilaku Plastis pada Material

Sifat pada berbagai macam logam yang menggambarkan kemampuannya untuk menahan regangan permanen disebut plastisitas. Uji tarik uniaksial merupakan metode yang mudah untuk mengindikasikan sifat plastis pada sebuah material. Kurva untuk material baja ulet dalam system tegangan nominal- regangan Cauchy pada gambar 2.6 mengindikasikan karakteristik titik berikut: 1: *proportional limit*; 2: *elastic limit*; 3: *yield point*; 3-4: *platform of ideal plasticity*; 4-5: *plastic hardening*; 5: *necking point*; 6: *rupture point*. Kurva tipikal yang ditunjukkan tidak menggambarkan karakteristik kurva tegangan-regangan untuk material lainnya. (Sluzalec, Andrzej, 2003)



Gambar 2.6 Kurva Tegangan Regangan untuk Baja Ulet (Sluzalec, Andrzej, 2003)

Plastisitas digunakan untuk memodelkan material yang di berikan beban melewati batas elastis. Pelepasan beban memulihkan keadaan elastis pada regangan total, dan jika beban secara penuh dihilangkan, sebuah deformasi permanen akibat regangan plastis akan terjadi di material. Perubahan regangan plastis bergantung pada riwayat pembebanan seperti temperature, tegangan, laju regangan, serta variabel internal seperti kekuatan luluh, tegangan, dan kerusakan. (Sluzalec, Andrzej, 2003)

2.3 Model Plastisitas

Yield criterion untuk berbagai material bergantung pada riwayat pembebanan dan perubahan pada regangan plastis. Perubahan dalam kriteria luluh untuk pembebanan disebut model plastisitas dan didefinisikan oleh hukum pengerasan. Perilaku pengerasan menghasilkan kenaikan di tegangan luluh berdasarkan pembebanan lanjutan dari keadaan permukaan luluh sehingga untuk sebuah deformasi material secara plastis, kenaikan tegangan bersamaan dengan kenaikan pada regangan plastis.

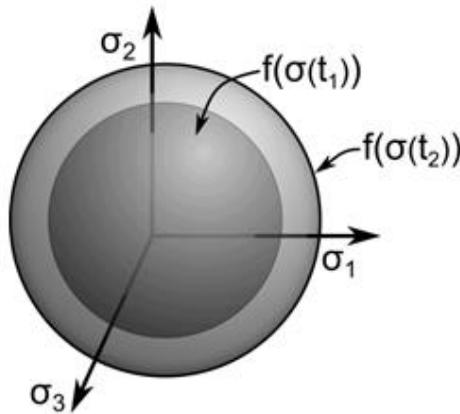


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dua tipe umum pada hukum pengerasan adalah pengerasan isotropik dan kinematic. Untuk pengerasan isotropic, permukaan luluh di jelaskan oleh persamaan 2.1:

$$F(\sigma) - \sigma_y(\xi) = 0 \quad (2.1)$$

Dimana $F(\sigma)$ merupakan fungsi scalar pada tegangan dan $\sigma_y(\xi)$ merupakan tegangan luluh.



Gambar 2.7 Pengerasan Isotropik pada Permukaan Luluh (ANSYS HELP, 2009)

Beban plastis dari $\sigma(t1)$ hingga $\sigma(t2)$ menaikkan tegangan luluh dan menghasilkan kenaikan seragam pada ukuran permukaan luluh, seperti gambar 2.7.

Tipe pengerasan ini dapat memodelkan perilaku pada material dibawah pembebanan monotonik dan pelepasan beban elastis, namun seringkali tidak memberikan hasil yang baik untuk struktur yang mengalami deformasi plastis setelah pembebanan ulang dari keadaan plastis.

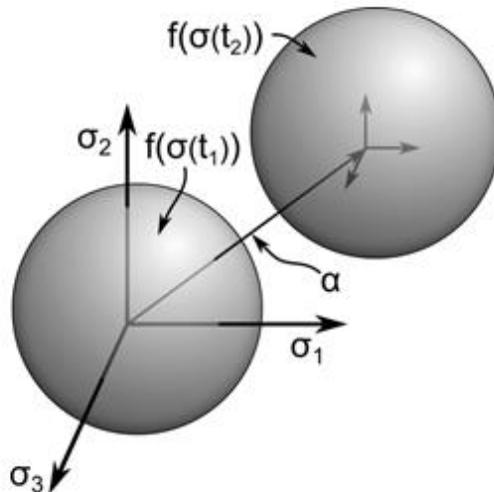
Untuk pengerasan kinematic, permukaan luluh memiliki bentuk:



$$F(\sigma - \alpha\xi) = 0 \quad (2.2)$$

Dimana α merupakan tegangan *tensor*.

Back stress tensor merupakan pusat (atau asal) pada permukaan luluh, dan pembebanan plastis dari $\sigma(t_1)$ hingga $\sigma(t_2)$ menghasilkan perubahan pada *back stress* dan perubahan terjadi pada permukaan luluh yang ditunjukkan oleh gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pengerasan Kinematik pada Permukaan Luluh (ANSYS HELP, 2009)

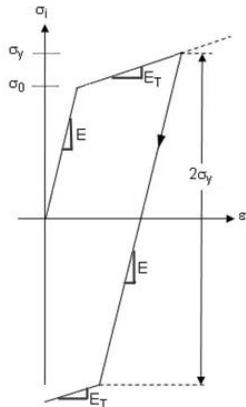
Pengerasan kinematik di tinjau dari pembebanan siklus pada logam. Dapat digunakan untuk memodelkan perilaku seperti efek Bauschinger, dimana kekuatan tekan luluh berkurang berdasarkan respon terhadap *tensile yielding*.

Banyak material menunjukkan perilaku pengerasan keduanya isotropik dan kinematik, dan hukum pengerasan dapat digunakan bersamaan untuk memberikan model pengerasan gabungan. (ANSYS HELP, 2009)



2.3.1 Model Plastisitas Bilinear Isotropik

Model plastisitas *bilinear isotropic* dideskripsikan oleh kurva tegangan regangan bilinear seperti gambar 2.9. Dimana *slope* awal dari kurva tersebut merupakan nilai modulus elastisitas pada material. Melewati nilai awal



Gambar 2.9 Tegangan-regangan Total untuk Model Plastisitas Bilinear Isotropik. (Besseling, 1958)

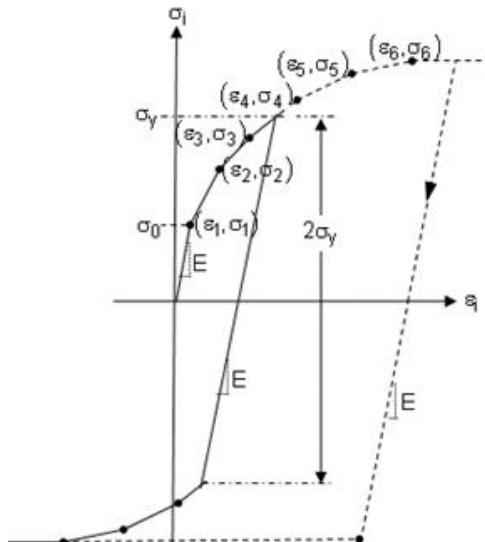
tegangan luluh σ_0 , regangan plastis semakin naik dan kurva tegangan-total regangan berlanjut sepanjang garis bersamaan dengan *slope* yang di definisikan sebagai nilai tangent modulus E_T . Nilai tangent modulus tidak dapat kurang dari 0 atau melebihi modulus elastisitas. (Besseling, 1958)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.3.2 Model Plastisitas Multilinear Isotropik

Sifat model plastisitas *multilinear isotropic* dipengaruhi oleh kurva tegangan-regangan plastis yang digambarkan oleh banyak fungsi linear pada kurva tegangan-total regangan seperti pada gambar 2.10, yang dimulai dan didefinisikan oleh beberapa set nilai tegangan dan regangan positif. (Ansys Help, 2016).



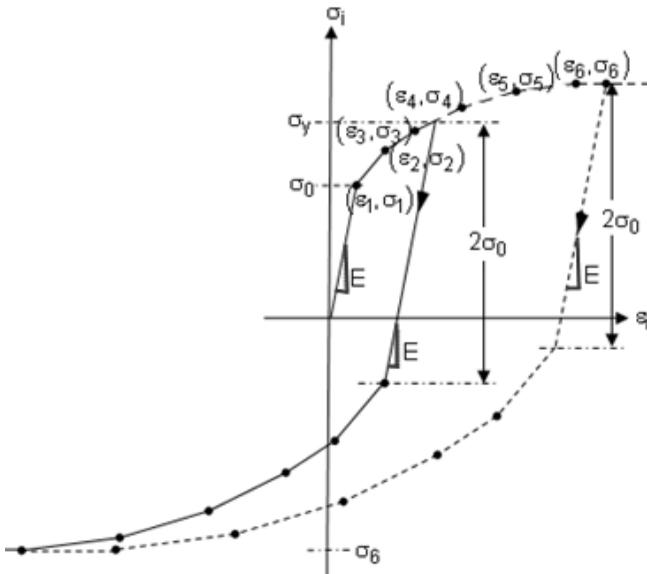
Gambar 2.10 Tegangan-regangan Total untuk Model Plastisitas Bilinear Isotropik. (Besseling, 1958)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.3.2 Model Plastisitas Nonlinear Isotropik

Model plastisitas nonlinear isotropik berdasarkan hukum Voce, dimana model plastisitas Voce sendiri mirip dengan pengerasan bilinear isotropik, dengan sebuah eksponen model plastisitas jenuh yang ditambahkan pada keadaan linear seperti di gambarkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tegangan-regangan Plastis untuk Model Plastisitas Voce (Valliapan, 1976)

Perubahan pada tegangan luluh untuk model ini di jelaskan oleh persamaan berikut

$$\sigma_Y = \sigma_0 + R_0 \hat{\epsilon}^{pl} + R_\infty (1 - \exp(-b \hat{\epsilon}^{pl})) \quad (2.1)$$

Dimana parameter yang ditentukan oleh *user* termasuk R_∞ , perbedaan antara tegangan jenuh dan tegangan luluh awal, R_0 , *slope* pada tegangan jenuh dan, b , parameter model plastisitas yang



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

mengatur laju kejenuhan pada keadaan eksponensial. (Ansys Help, 2016)

2.4 Proses Roll-Bending

Pengerolan bentuk pada ruang temperatur (*cold shape rolling*) dapat dilakukan dengan material pada permukaan plat dengan berbagai macam penampang (*cross section*). Dikarenakan penampang material berkurang secara tidak seragam, desain pada sebuah rangkaian roll membutuhkan pengalaman yang cukup untuk menghindari *defect* internal dan eksternal, menahan toleransi dimensi, dan mengurangi keausan rol (Kalpakjian, 2009).

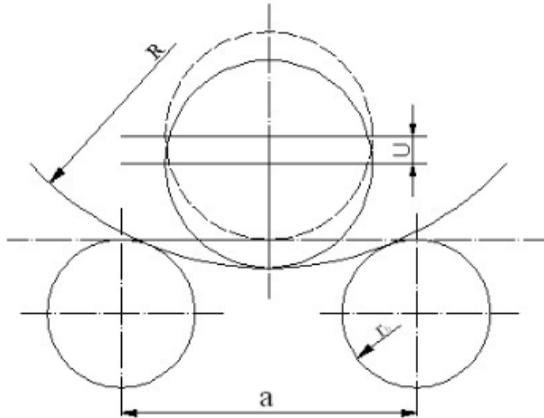
Dalam proses pengerolan rim untuk memproduksi *multi-piece rim*, proses *metal forming* yang terlibat adalah proses rolling dan bending yang diakibatkan oleh interaksi plat raw material dengan mold roll. Ada dua jenis proses roll-bending yang umumnya digunakan yaitu, proses tiga roll bender dan proses empat roll bender. Kedua proses roll tersebut dibedakan dengan jumlah roll pembentuk yang berjumlah tiga buah dan empat buah roll (J.Haou, Z Luo, J.T Dong, 2011).

Proses tiga roll bender yang terdiri dari roll atas dan dua roll bawah dilakukan dengan memberikan plate yang diumpankan ke bagian roller bawah roller dan roll atas membantu memberikan bending terhadap terhadap plate dengan mengatur posisi antara roll atas dengan plate. Ketika plate melewati roller bawah, roller atas akan memberikan bending terhadap plate, sehingga setelah keluar dari daerah roller atas plate telah terbending, untuk menghindari efek spring-back roller belakang dipasangkan. Plate dapat membentuk full cylinder di akhir proses. Proses pembentukan plate silinder dapat dilihat pada gambar 2.12. dimana a adalah jarak antar



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

roll bawah, R adalah radius plate yang diinginkan, r_a dan r_b adalah radius dari roll bawah.



Gambar 2.12 Ilustrasi Proses Tiga Roll Bender
(J.Haou, Z Luo, J.T Dong, 2011)

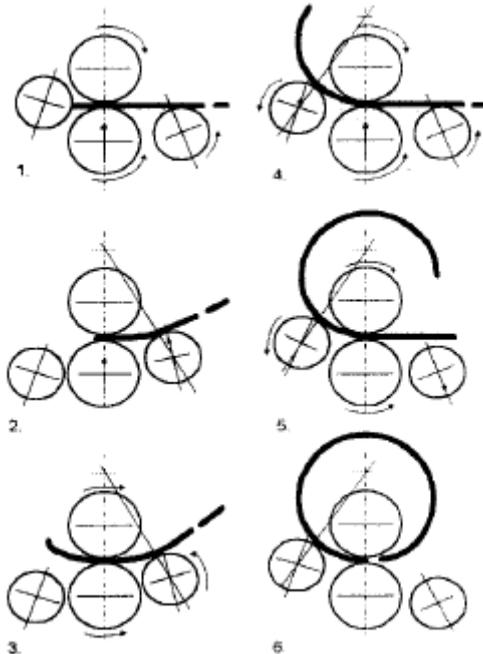
Proses empat *roll bender* merupakan proses yang digunakan dalam aplikasi pembentukan rim velg *truck*. Prinsip kerja dari empat *roller bender* memberikan kelebihan berupa sirkulasi pengerolan yang lebih lancar, serta proses ini juga mengurangi biaya material sisa, meningkatkan produktifitas dan fleksibilitas daripada proses tiga *roll bender* (M. Hua, D.H. Sansome, K.P. Rao & K. Baines, 1994).

Proses pengerolan plate terdiri dari beberapa tahap seperti pada gambar 2.13: (i) Pengaturan ujung tepi (*edge setting*) (ii) Proses bending oleh roll depan (iii) Proses continuous rolling oleh roll depan, atas dan bawah (iv) Proses continuous dengan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

bergabungnya roll belakang (v)(vi) proses continuous rolling untuk memenuhi bentuk silinder.



Gambar 2.13 Tahap-tahap rolling plate dengan menggunakan empat roller bender

(M. Hua, D.H. Sansomeb , K.P. Rao & K. Baines, 1994).

2.5 Wheels

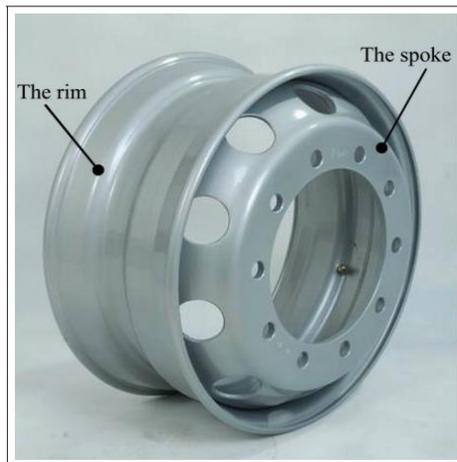
2.5.1 Teori Dasar Kerja Wheel

Ban bekerja sebagai sebuah roda hanya setelah di pasangkan pada rim; pemasangan ban dan roda mempengaruhi fungsi serta performa pada kenadaraan. Ban di desain dan di manufaktur untuk menyesuaikan sebuah rim yang biasa dipakai dan ketika di pasangkan pada rim yang tepat ban akan bekerja



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

sesuai tingkatan yang diharapkan. Tidak perlu dijelaskan bawah umur pakai sebuah ban akan berkurang jika di pasangkan pada rim yang tidak sesuai. Rim tersebut sesungguhnya merupakan sebutan untuk bagian silindris dimana ban dipasang. Sebuah roda merupakan sebutan untuk mengelompokan antara rim dan plat disk. Ketika plat disk dalam keadaan *fix* didalam silindris, pemasangan ini menjadi sebuah roda (*wheel*) diilustrasikan pada gambar 2.14. (P. Meghashyam, S. Girivardhan Naidu& N. Sayed Baba, 2013)



Gambar 2.14 Tubeless steel wheel
(Ping Lu, 2015)

2.5.2 Rim Nomenclature

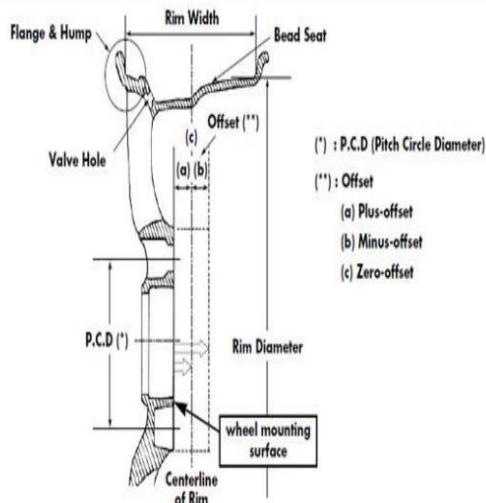
Penjelasan tiap bagian pada rim, di tunjukan oleh gambar 2.15.

1. Wheel: Wheel adalah nama umum yang terdiri rim dan disk
2. Rim: Bagian dimana ban dipasang
3. Disk: Bagian dalam rim diamana akan terhubung dengan rim melalui hub



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

4. Offset: Bagian ini adalah space diantara roda dimana hub dan disk terpasang
5. Flange: Flange adalah bagian dari rim yang berfungsi menahan kedua sisi ban
6. Hump: Ini adalah tonjolan yang terdapat di daerah rim untuk mencegah ban tergelincir dari rim saat kendaraan bergerak
7. Well: bagian ini berfungsi untuk memasang dan melepas ban pada rim,



Gambar 2.15 *Rim-Nomenclature* (P. Meghashyam, 2013)

2.6 Metode Elemen Hingga

2.6.1 Teori Metode Elemen Hingga

Finite Element Method atau metode elemen hingga adalah sebuah metode yang memiliki ide untuk membagi objek yang kompleks menjadi blok-blok atau elemen sederhana, atau membagi objek yang kompleks menjadi pecahan-pecahan kecil yang lebih mudah dikelola yang disebut elemen (J.N. Reddy, 1993).



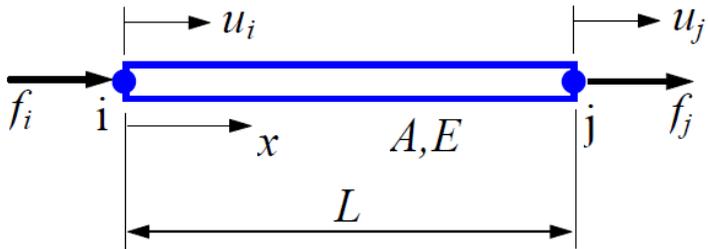
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Finite Element Method (FEM) disebut juga *Finite Element Analysis* (FEA), adalah sebuah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisis nilai tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan *mode shape*-nya, perpindahan *panas*, *elektromagnetis*, dan *aliran fluida* (S-Moaveni, 1999).

Pada dasarnya metode elemen hingga biasanya dapat dilakukan dengan menganalisa elemen 1-D, elemen 2-D, atau Elemen 3-D. Untuk elemen 1-D sebagai contoh adalah elemen spring, trust, beam, pipa, untuk elemen 2-D sebagai contoh adalah elemen membrane, pelat, dan shell, untuk elemen 3-d dapat berupa elemen solid.

Contoh sederhana dari sebuah perhitungan bar untuk menghitung tegangan di dalam bar diturunkan berdasarkan persamaan 2.3, penurunan ini bersifat linear statis analisis dimana material memiliki sifat deformasi yang kecil, material bersifat elastis, dan beban yang statis.

Perhitungan analisis linear sendiri dapat memberikan banyak informasi mengenai sifat dari struktur, dan dapat menjadi pendekatan dari berbagai macam analisis. Analisis linear juga dapat menjadi dasar untuk menghitung kasus non-linear. Sebuah elemen bar yang akan dianalisis berdasarkan metode elemen hingga ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Elemen Bar dengan Dua Nodes (i,j)
(Yijun liu, 2003)

A = Luas area tegak lurus

L = Panjang

E = Modulus Elastisitas

U = Perpindahan

ϵ = Regangan

Hubungan Strain- displacement

$$\epsilon = \frac{du}{dx} \quad (2.3)$$

Hubungan Stress- strain

$$\sigma = E\epsilon \quad (2.4)$$

Diasumsikan bahwa perpindahan berjalan linear terhadap sumbu axis

$$u(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right) u_i + \frac{x}{L} u_j \quad (2.5)$$

$$\epsilon = \frac{u_j - u_i}{L} = \frac{\Delta}{L} \quad (2.6)$$

$$\sigma = E\epsilon = \frac{E\Delta}{L} \quad (2.7)$$

Dengan menghubungkan rumus tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.8)$$



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menggabungkan rumus (2.6) dan Rumus (2.6) menjadi

$$F = \frac{EA}{L} \Delta = k\Delta \quad (2.9)$$

Dengan menganalogikan sifat dari bar dengan sifat kekakuan pegas maka didapatkan :

$$k = \frac{EA}{L} \quad (2.10)$$

Apabila ditulis di dalam persamaan matriks maka nilai beban(F) memiliki fungsi

$$\frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_i \\ f_j \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

Untuk mendapatkan persamaan tegangan, persamaan perlu mendefinisikan persamaan linear berupa;

$$N_i(\xi) = 1 - \xi N_j(\xi) = \xi \quad (2.12)$$

Dimana ;

$$\xi = \frac{x}{L} \quad 0 \leq \xi \leq 1 \quad (2.13)$$

Sehingga persamaan (2.1) dapat ditulis menjadi :

$$u(x) = u(\xi) = N_i(\xi)u_i + N_j(\xi)u_j \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) dapat dibuat menjadi lebih sederhana

$$u = [N_i \quad N_j] \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = \mathbf{N}u \quad (2.15)$$

Memasukan persamaan (2.1) kedalam persamaan (2.15) sehingga,

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} = \left[\frac{d}{dx} N \right] u = \mathbf{B}u \quad (2.14)$$

B adalah elemen dari matriks perpindahan regangan,yang berlainai

$$\mathbf{B} = \left[-1/L \quad 1/L \right] \quad (2.15)$$

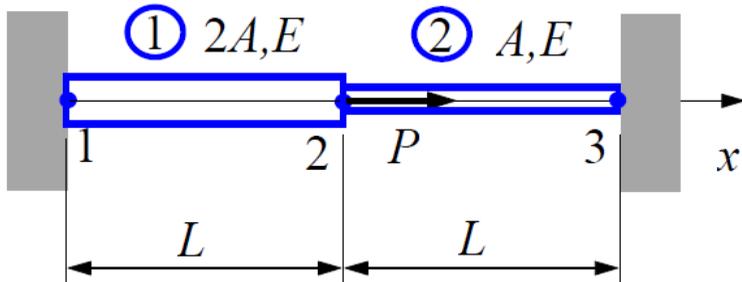


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sehingga nilai tegangan dapat dituliskan menjadi

$$\sigma = E\varepsilon = E\mathbf{B}\mathbf{u} \quad (2.16)$$

Perhitungan nilai tegangan dari sebuah sistem *bar* sederhana yang dijepit pada kedua ujungnya ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Dua Elemen Bar yang Dijepit Kedua Ujung Tepi dengan Diberi Gaya Sebesar P di node kedua (Yijun liu, 2003)

Definisi matriks kekakuan di setiap elemem dihitung berdasarkan rumus (2.11)

Elemen 1,

$$\mathbf{k}_1 = \frac{2EA}{L} \begin{bmatrix} u_1 & u_2 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Elemen 2,

$$\mathbf{k}_1 = \frac{2EA}{L} \begin{bmatrix} u_3 & u_4 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Membuat persamaan global dari persamaan elemen hingga



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

$$\mathbf{k}_2 = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 0 \\ -2 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}$$

Dimana perpindahan(u) pada node 1 dan 3 adalah nol, dan F_2 bernilai P , sehingga didapatkan

$$\frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 0 \\ -2 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ u_2 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ P \\ F_3 \end{Bmatrix}$$

Membuat sederhana persamaan tersebut menjadi,

$$\frac{EA}{L} [3]\{u_2\} = \{P\}$$

Sehingga nilai U_2 ,

$$u_2 = \frac{PL}{3EA}$$

Sehingga nilai perpindahan di masing-masing node

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \frac{PL}{3EA} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dari masing-masing perhitungan tersebut dapat dicari nilai dari tegangan di masing-masing elemen.

Stress pada elemen 1,

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= E\varepsilon_1 = \mathbf{EB}_1\mathbf{u}_1 = E \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \\ &= E \frac{u_2 - u_1}{L} = \frac{E}{L} \left(\frac{PL}{3EA} - 0 \right) = \frac{P}{3A} \end{aligned}$$

Stress pada elemen 2,

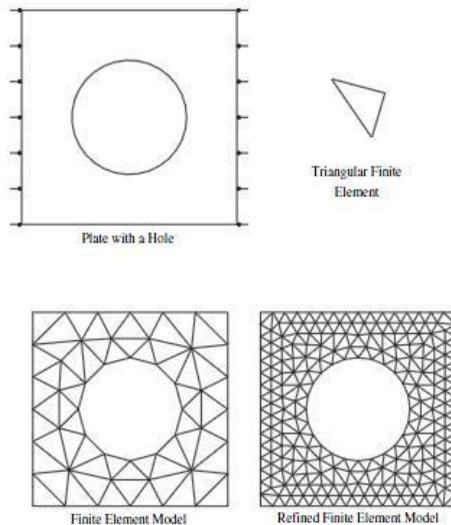
$$\begin{aligned} \sigma_2 &= E\varepsilon_2 = \mathbf{EB}_2\mathbf{u}_2 = E \begin{bmatrix} -1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \\ &= E \frac{u_3 - u_2}{L} = \frac{E}{L} \left(0 - \frac{PL}{3EA} \right) = -\frac{P}{3A} \end{aligned}$$



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Metode elemen hingga sangat tepat digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

Penggambaran dasar pendekatan FEM ditunjukkan pada gambar 2.18, gambar sebuah *plate* yang akan dicari nilai distribusi temperturnya. Bentuk dari geometri *plate* di "*meshing*" menjadi bagian-bagian kecil bentuk segitiga untuk mencari solusi yang berupa distribusi temperatur *plate*. Sebenarnya kasus ini dapat



Gambar 2.18 Meshing pada plate. (A First Course in Finite Elements. Jacob Fish & Ted Belytschko, 2007)

diselesaikan dengan cara langsung yaitu dengan persamaan kesetimbangan panas (*heat balance equation*). Namun untuk



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

geomtri yang rumit seperti *engine block* diperlukan FEM untuk mencari distribusi temperatur.

2.6.2. Ansys Software

ANSYS merupakan sebuah *software* berbasis *finite element methods* yang dapat digunakan untuk analisa distribusi tegangan, temperatur, elektromagnetik, fluida dll. ANSYS apdl adalah salah satu jenis ANSYS *parametric design language* dan dapat digunakan untuk membangun model dengan parameter tertentu (ANSYS HELP,2009). ANSYS memiliki berbagai macam produk seperti ANSYS Mechanical, ANSYS Workbench, ANSYS Fluent, dan lain-lain. Pada penelitian tugas akhir ini produk yang digunakan adalah ANSYS Mechanical APDL dan LS-Dyna yang terintegrasi kedalam ANSYS

2.6.2.1. Preferences

Preferences adalah opsi didalam ANSYS untuk memberikan prioritas modul yang akan diselesaikan oleh *software* tersebut, Dalam opsi preferences, ANSYS didalamnya dapat dipilih opsi penyelesaian *structural*, *thermal*, ataupun *electromagnetic*. Solver LS-Dyna juga ada didalam *preferences*.

2.6.2.2. Pre-Processor

Pre-processing adalah langkah awal dalam melakukan simulasi dalam *software* ANSYS. *Pre-processing* adalah proses dimana semua data-data material didefinisikan, model geometri material dibuat, fungsi-fungsi dari material didefinisikan. Berikut hal-hal yang umum dalam tahap *pre-processing*.

- A. *Modeling*: *Modeling* adalah proses membuat seluruh geometri yang dibutuhkan dalam proses simulasi, pada proses *modeling*, material dapat digambarkan dalam bentuk 2-D ataupun 3-D. Untuk benda bergeometri rumit, ANSYS memudahkan untuk memasukan CAD dari software lain misalnya CATIA dan SOLIDWORK.
- B. *Elemen type*: *elemen type* adalah proses untuk memberikan atribut atau bentukan dari benda yang kita gambar untuk dianalisa, misalnya material yang kita gambar berbentuk



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

solid, beam, shell, dll. Tiap-tiap atribut atau bentukan akan berpengaruh pada langkah-langkah berikutnya dan analisa yang akan dilakukan

- C. *Material properties* : *Material properties* adalah proses untuk memberikan property material pada benda yang akan dianalisa, misalnya, densitas, modulus elastisitas dan lain-lain
- D. *Meshing*: *Meshing* adalah proses membagi benda yang akan dianalisa menjadi luasan-luasan/area-area kecil. Meshing adalah salah satu proses penting dalam proses FEM.

2.6.2.3. Solution

Langkah berikutnya dalam melakukan simulasi di dalam ANSYS adalah *solution*. Pada tahap ini proses FEM telah mendekati akhir, yaitu proses analisa dan perhitungan, ada beberapa hal yang biasanya didefinisikan dalam *solution* , sebagai berikut ;

- A. *Constrain* ; *Constrain* adalah proses untuk menentukan gaya yang akan bekerja pada benda yang akan kita analisa. Pada *constrains* derajat kebebasan benda yang akan dianalisa akan ditentukan.
- B. *Define Load* ; *Define load* pada opsi ini besarnya pembebanan dapat didefinisikan pada material
- C. *Solve* ; Untuk menyelesaikan simulasi yang sudah seluruhnya di definisikan.

2.6.2.4. General Post-Processor

Setelah proses analisa oleh ANSYS seluruh hasil dari analisa dapat dilihat di *general post-processor* , data tersebut dapat dilihat dalam bentuk tabel maupun grafik. Animasi dari hasil analisa juga dapat ditampilkan didalam opsi ini.

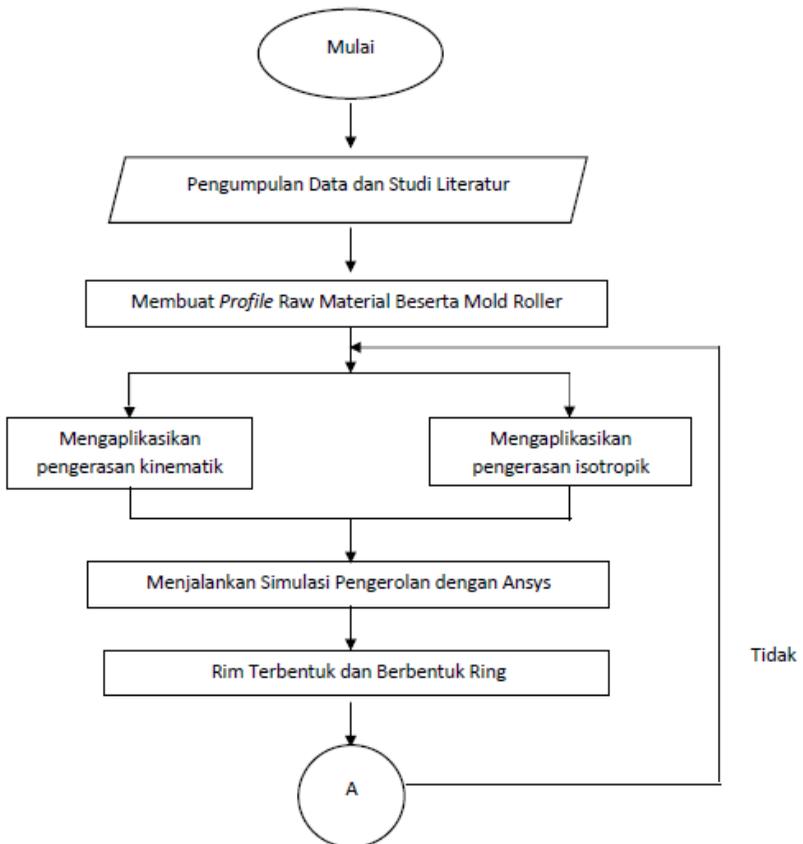


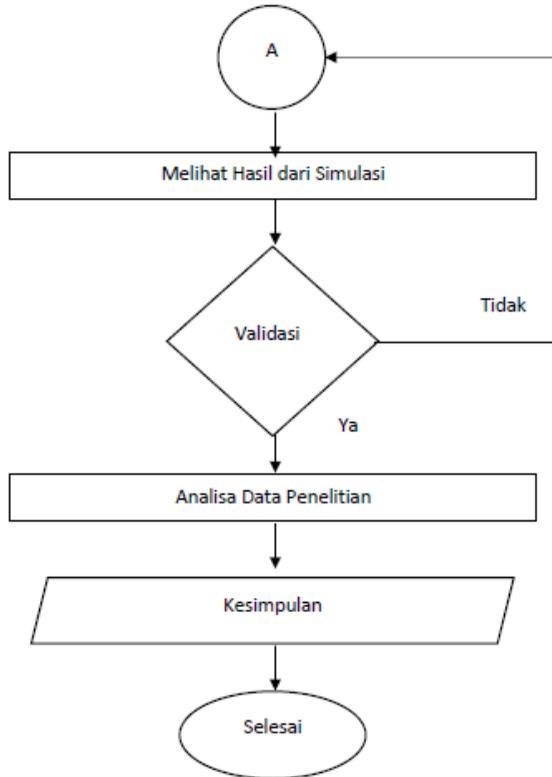
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram Alir pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

Tabel 3.1 Tabel Hasil Penelitian

Input Model plastisitas	Output
<i>Bilinear Isotropic</i>	Persebaran Tegangan
	Besar Tegangan
<i>Multilinear Isotropic</i>	Persebaran Tegangan
	Besar Tegangan
<i>Nonlinear Isotropic</i>	Persebaran Tegangan
	Besar Tegangan



BAB III METODOLOGI

3.2. Spesifikasi Material Penelitian

3.2.1. Material Penelitian

Material yang digunakan untuk proses rolling adalah SS400, merupakan material yang didefinisikan oleh standard JIS G3101 dan di bandingkan dengan material baja AISI 1018 serta baja ASTM A299 dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 3.2. Komposisi Kimia Baja SS400

Komposisi Kimia (%)			
C	S	Si	P
0.26	0.05	0.4	0.04

Tabel 3.3. Sifat Mekanik Baja SS400 (Ichiro,2001)

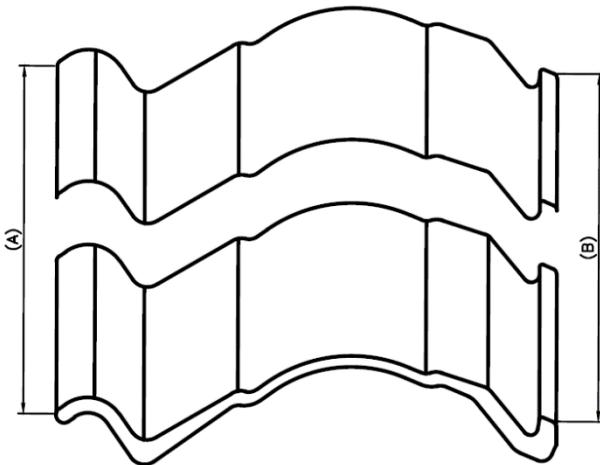
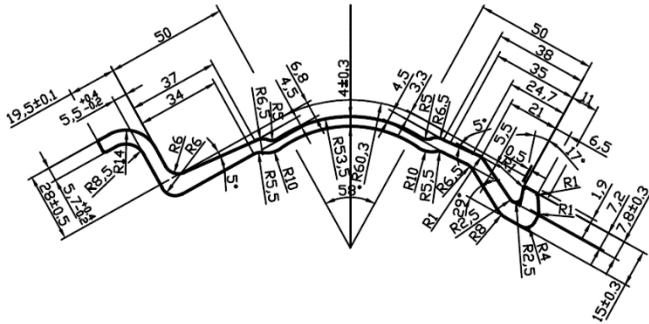
Nama	Data
Modulus Young	2100000 Mpa
Poisson Ratio	0.29
Density	7800
UTS	700 Mpa
Yield Strength	250 Mpa

3.2.2. Geometri Penelitian

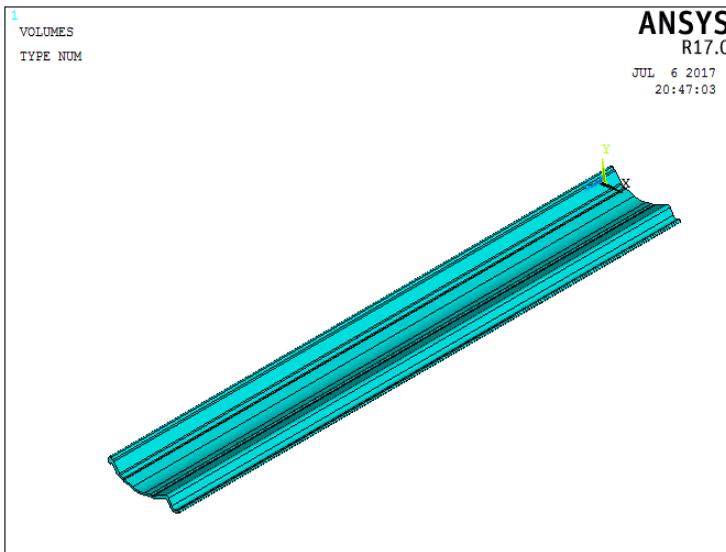
Geometri yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari geometri dari *raw material* dan geometri dari geometri dari empat jenis roll. Data geometri didapatkan dari studi lapangan yang diadakan di PT. Autokorindo Pratama.

3.2.2.1. Geometri Raw Material

Geometri *raw material* yang digunakan berjenis pelat yang memiliki *profile* bergelombang, *raw material* ini digunakan dalam proses pembentukan *base rim*.



Gambar 3.2. Tampak Depan Raw Material 6.00



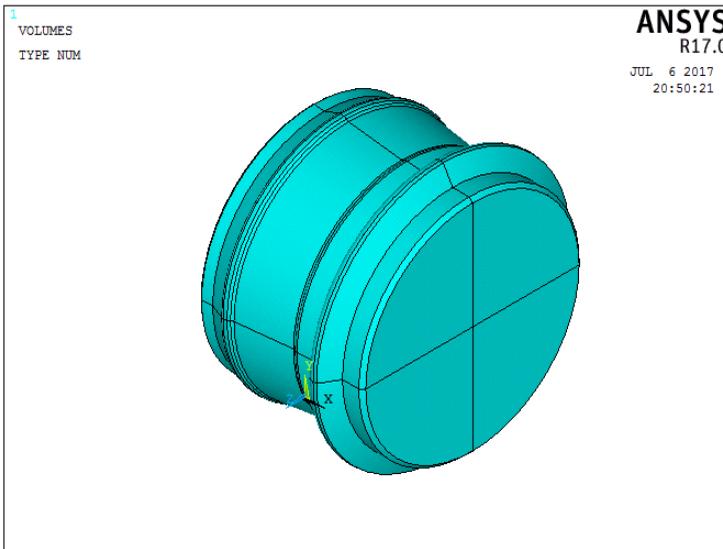
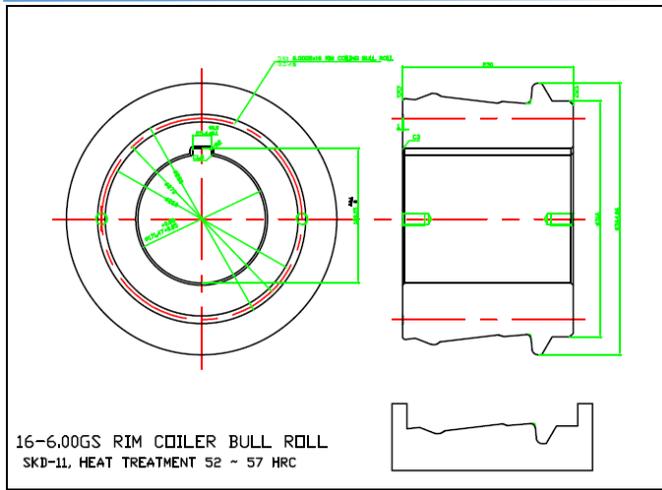
Gambar 3.3. Tampak Penuh dari *Raw Material* 6.00

3.2.2.2. Geometri Roller

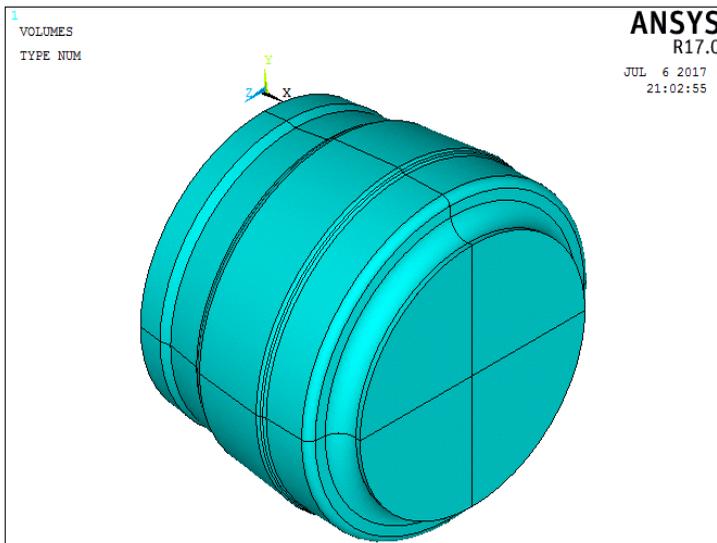
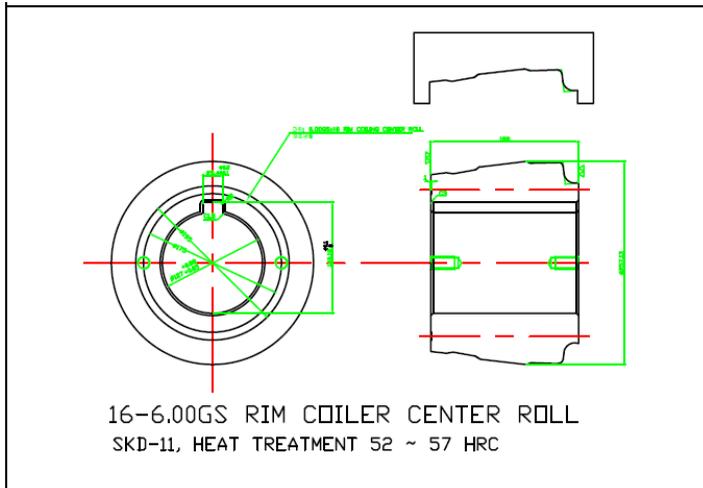
Roller yang digunakan pada penelitian ini menggunakan empat jenis roller yaitu roller depan, roller belakang, roller bawah, dan roller atas.



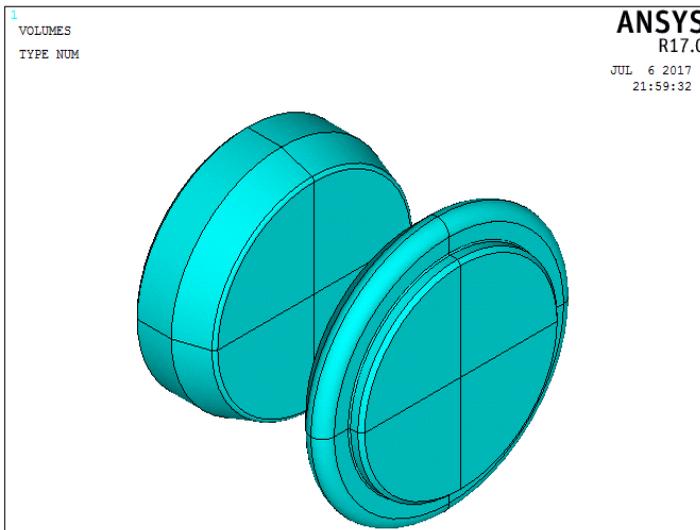
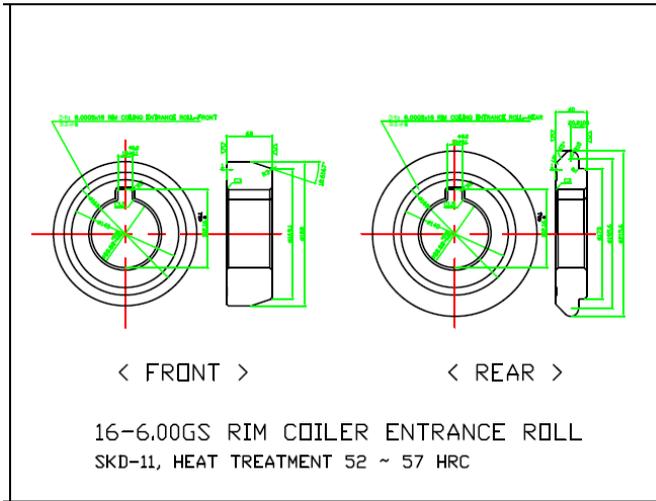
BAB III METODOLOGI



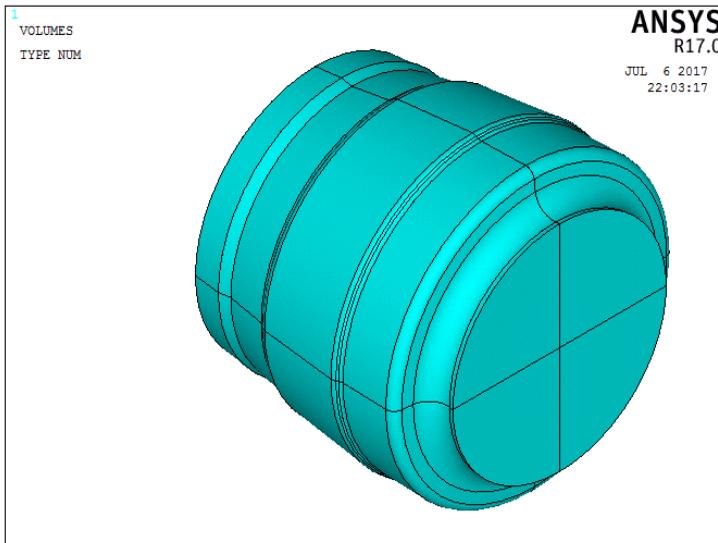
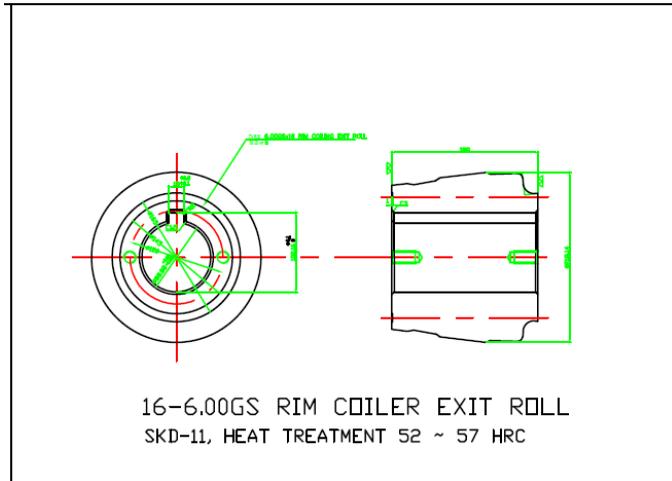
Gambar 3.4 Tampak *Roller* Atas 6.00



Gambar 3.5 Tampak Roller Bawah 6.00



Gambar 3.6 Tampak *Roller* Depan 6.00



Gambar 3.7 Tampak *Roller* Belakang 6.00”



BAB III METODOLOGI

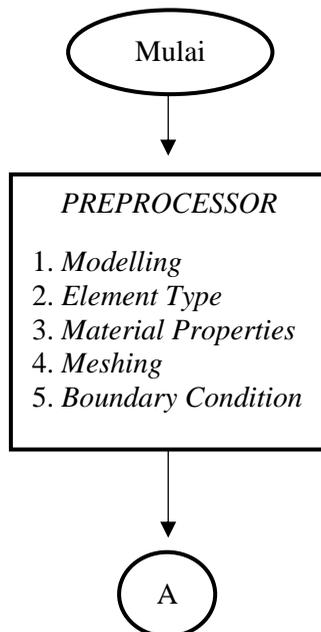
3.3 Peralatan Penelitian

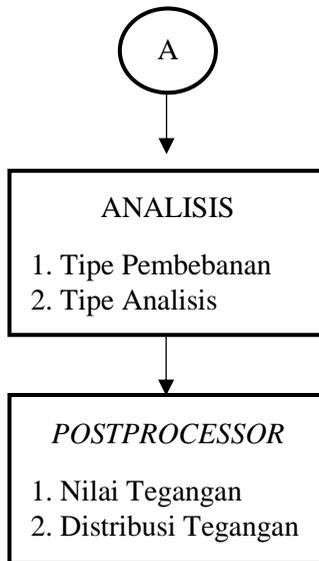
Peralatan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Autocad 2017* merupakan *software* desain yang digunakan untuk panduan dimensi serta desain dari PT. Autokorindo yang kemudian hasilnya di aplikasikan ke *software ANSYS 17.0*
2. *ANSYS 17.0* merupakan *software* yang digunakan untuk memodelkan simulasi dengan metode elemen hingga

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian menggunakan perangkat lunak *ANSYS* yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

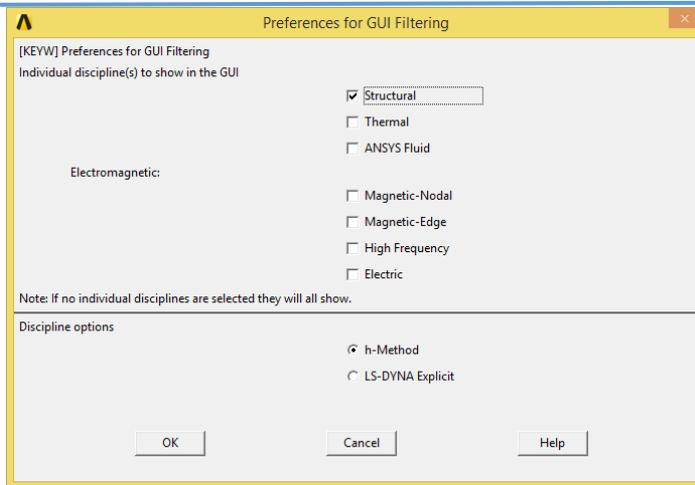




Gambar 3.8 Diagram Alir Permodelan

3.4.1 Pemodelan *Rolling Truck Velg*

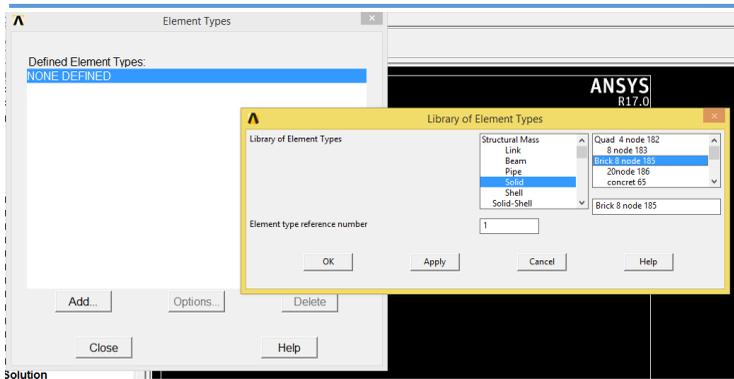
Dalam melakukan pemodelan *rolling truck velg*, langkah pertama yang dilakukan, menentukan *Preferences*, dengan memilih pilihan *Structural* seperti yang digambarkan pada gambar 3.9, karena disini akan dilakukan analisis distribusi tegangan pada tiga metode model plastisitas yang berbeda diantaranya adalah : *bilinear isotropic*, *multilinear isotropic*, dan *non-linear isotropic*.



Gambar 3.9 *Preferences*

3.4.2 Penentuan *Element Type*

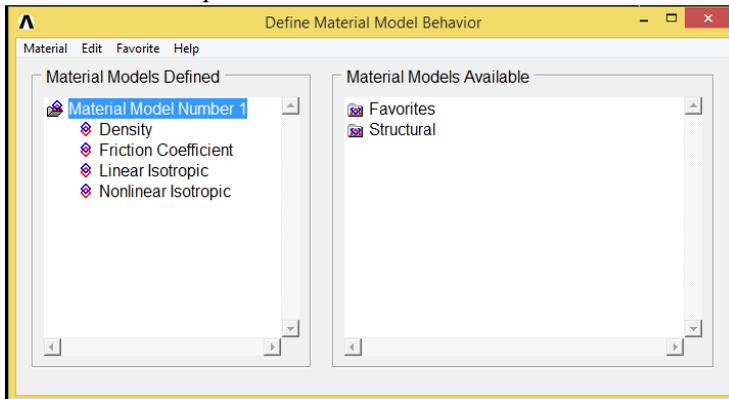
Dalam melakukan penentuan tipe elemen yang akan digunakan dalam simulasi pengerolan seperti digambarkan pada gambar 3.10, yaitu dengan menggunakan *Brick Element (Solid 185)* karena elemen tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan. SOLID185 memiliki 8 *nodes* struktur yang mendeskripsikan pembagian pada matriks elemen struktural dan vektor pembebanan beserta perhitungan tegangan.



Gambar 3.10 *Element Type*

3.4.3 Material Properties

Pada penelitian ini dilakukan analisis struktural, oleh karena itu dilakukan penginputan data berupa data struktural, seperti densitas, koefisien friksi, serta metode model plastisitas antara lain berupa: *bilinear isotropic*, *multilinear isotropic*, dan *non-linear isotropic*.



Gambar 3.11 *Material Properties*



3.4.4 Meshing

Meshing adalah proses untuk membagi benda menjadi elemen – elemen yang lebih kecil sehingga berguna pada saat simulasi tegangan yang terjadi



Gambar 3.12 Hasil *Meshing Material*

3.4.5 Boundary Condition

Proses pengerolan yang terjadi adalah hasil dari gaya gesek yang terjadi antara permukaan rol dan permukaan *slab metal*. Dengan mengikuti keadaan dilapangan beberapa *boundary condition* yang diberikan pada simulasi berupa

- a. *Displacement* sebesar 0 ke arah sumbu X pada area 485,486,509, dan 510 yang merupakan area sisi samping *slab metal* agar tidak mengalami pergeseran ke arah yang tidak diinginkan.
- b. Selain itu, pada tiap roll diberikan *displacement* sebesar 0 ke arah sumbu Y dan Z agar roll nantinya mampu berputar.



3.4.6 Tipe Pembebanan

Pembebanan yang dilakukan adalah tipe pembebanan *structural*. Ada dua tahap pembebanan yang dilakukan pada simulasi pengerolan pada tugas akhir ini yaitu perpindahan (*displacement*) dan rotasi.

Tabel 3.4. Pembebanan

No	Material	Pembebanan	Nilai
1	6.00	Perpindahan sumbu Y	-5 Cm
2	6.00	Rotasi sumbu X	2π

3.4.7. Tipe Analisis

Tipe analisis dalam tugas akhir ini adalah stuktural dengan menggunakan analisis *large displacement static*, analisa ini digunakan karena proses pengerolan membutuhkan nilai regangan yang tinggi.

3.4.8. Validasi Penelitian

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dan tercapainya tujuan penelitian, dengan bantuan batasan masalah yang ada, Validasi penelitian perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang kredibel. Pada penelitian tugas akhir dengan judul “ AnalisisPengaruh Model Plastisitas pada Simulasi Tegangan Pengerolan Rim Velg *Truck* dengan Metode Elemen Hingga “ terdapat dua hal yang perlu di validasi ;

- a. Desain profil yang terbentuk sudah mengikuti alur mold roller atas dan mold roller bawah, sebagai komponen utama pembentuk profil, mold atas dan mold bawah merupakan pembentuk desain profil rim velg *truck* pada akhir proses pengerolan.
- b. Nilai tegangan von mises hasil akhir harus lebih kecil dari nilai tegangan tarik material SS400, nilai tegangan von mises yang lebih kecil daripada tegangan tarik menunjukkan bahwa pada proses pengerolan material dalam daerah plastis yang aman dan tidak



mengalami kegagalan. Rumus tegangan von mises merupakan hasil dari perhitungan nilai 3 tegangan *principle* yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] < \sigma_{UTS} \quad (3.1)$$

3.5.Langkah Penelitian

Penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Pengumpulan data dan studi literature
Pada tahap ini, data- data penting seperti desain mold, desain pelat rim, sifat material SS400 dikumpulkan berdasarkan data pada PT. Autokorindo.
2. Pembuatan geometri
Geometri plat rim 6.00 desain 2D pada AUTOCAD 2017 yang kemudian diubah menjadi desain 3D pada ANSYS Mechanical APDL 17.0
3. Menjalankan simulasi
Simulasi pengerolan dilakukan pada *software* ANSYS Mechanical APDL sesuai dengan desain, metode model plastisitas dan batasan masalah yang digunakan, hingga rim terbentuk.
4. Validasi penelitian
Hasil dari proses pengerolan dalam penelitian tugas akhir ini adalah terbentuknya profil material plat rim sesuai mold roller atas dan bawah pada tahap *pressing*, dan dapat diputar pada tahap pengerolan. Nilai tegangan von mises hasil menunjukkan nilai dibawah UTS, sehingga penelitian ini dapat dikatakan valid.
5. Analisis Data
Setelah hasil divalidasi perbandingan efek metode model plastisitas terhadap distribusi tegangan



pengerolan dapat dilakukan, dari kedua material secara teoritis nilai tegangan rim pada metode pengerasa *multilinear isotropic* akan lebih tinggi dibandingkan *nonlinear* dan *bilinear isotropic*.

6. Kesimpulan

Pada akhir penelitian dilakukan penarikan kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian

3.6. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini ada dua jenis, yaitu variabel terikat dan variabel bebas.

1. Variabel terikat berupa : Sifat material berupa densitas, *poison ratio*, sifat elastisitas, koefisien gaya gesek, jarak *displacement*, pemosisian rol, dan desain *raw material*.
2. Variabel bebas berupa : Metode model plastisitas.

3.7. Rancangan Penelitian

Pada penelitian tugas akhir dilakukan analisis perbandingan metode model plastisitas terhadap persebaran tegangan, nilai tegangan, dan konsentrasi tegangan, untuk satu jenis desain profil yang dimiliki PT. Autokorindo Pratama. Metode model plastisitas yang akan dianalisis adalah sebagai berikut:

1. *Bilinear isotropic*
2. *Multilinear isotropic*
3. *Nonlinear isotropic*



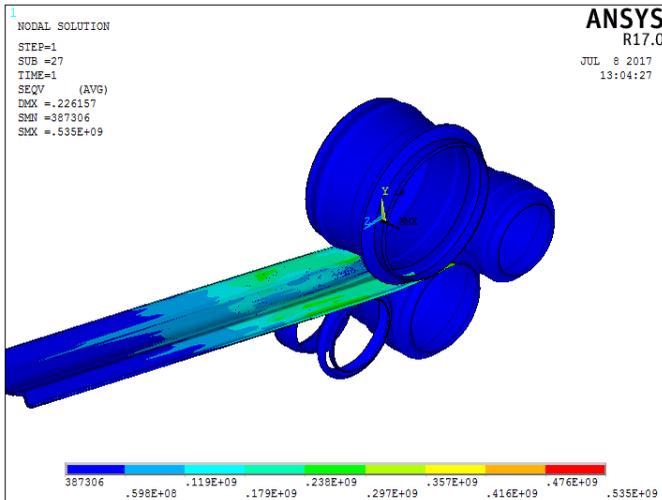
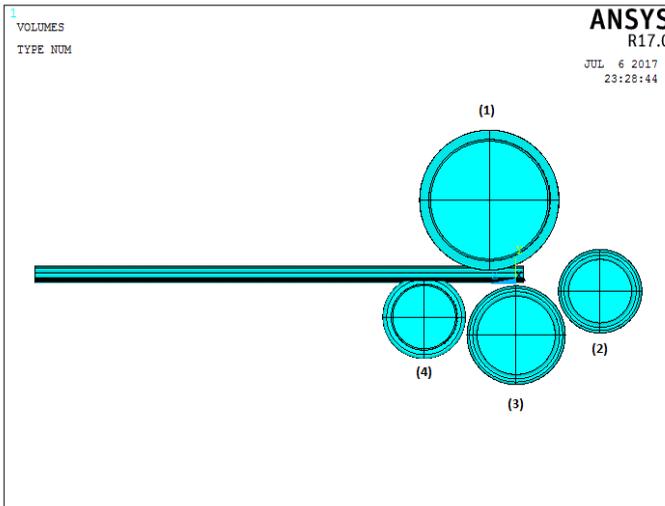
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Fabrikasi lembaran logam (*sheet metal*) memainkan sebuah peran penting dalam dunia manufaktur logam (Cloutier, 2000). Lembaran logam dipakai dalam produksi berbagai bahan dari peralatan, engsel, mobil, dll. Fabrikasi lembaran logam mencakup *deep drawing*, *stamping*, *forming*, hingga *high-energy-rate forming (HERF)* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan (Cloutier, 2000).

Permodelan analisis distribusi tegangan dimulai dengan membuat desain *slab metal* beserta seluruh *roller* yang terdiri dari *bull roll*, *entrance roll*, *center roll*, dan *exit roll* berdasarkan desain yang telah diberikan oleh PT Autokorindo, dimana *slab metal* diposisikan sesuai pada gambar 4.1 . Pada *bull roll* diberikan *displacement* sebesar 0,05 ke arah sumbu Y negative untuk membentuk profile serta menahan *slab metal* agar menyentuh antara *bull roll* dan *center roll*. Setelah melakukan pengaturan pada *software* yang digunakan maka dilakukan proses *solving*. Hasil yang diperoleh dari simulasi adalah *profile slab metal* yang telah terdeformasi serta menempel diantara *bull roll* dan *center roll*, menandakan bahwa *load step 1* (proses *pressing*) telah berakhir. Setelah itu memasuki *load step 2*, *bull roll*, *center roll*, dan *exit roll* diberikan rotasi sebesar 2π pada arah yang saling berlawanan agar *slab metal* nantinya bergerak kearah sumbu Z negatif hingga ter deformasi dan berbentuk velg sebagai hasilnya.

Simulasi yang dilaksanakan menggunakan tiga metode model plastisitas yang berbeda, antara lain adalah *bilinear isotropic*, *multilinear isotropic*, *non linear isotropic*. Hasil distribusi tegangan yang didapat dari ke tiga metode model plastisitas kemudian dibandingkan.



Gambar 4.1 Tampak Samping Pemosisian Slab Metal pada Mold Roller (1) Bull Roll, (2) Exit Roll, (3) Center Roll, (4) Entrance Roll



4.1 Nilai Von Mises Stress pada Proses Pengerolan

Pada penelitian ini didapatkan hasil Von Mises stress yang dapat digunakan untuk melihat hasil dari tegangan yang bekerja pada proses pengerolan velg truk yang telah dilakukan menggunakan metode model plastisitas berbeda

4.1.1 Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Bilinear Isotropic

Hasil dari simulasi proses pengerolan velg truk yang telah dilakukan menggunakan metode model plastisitas *bilinear isotropic* berupa *von mises stress*.

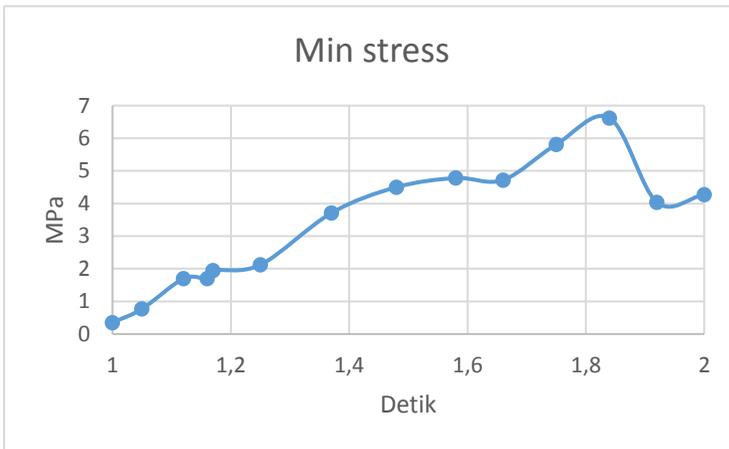
Tabel 4.1 Nilai tegangan maksimum dan minimum pada proses pengerolan menggunakan *bilinear isotropic*

<i>Substep</i>	Detik	Min stress (MPa)	Nodes	Max stress (MPa)	Nodes
27	1	0,35	8699	535	7587
40	1,05	0,77	1697	544	7587
80	1,12	1,7	2300	593	7587
120	1,16	1,7	2287	615	7587
160	1,17	1,95	2287	594	7587
200	1,25	2,12	2287	520	7587
240	1,37	3,71	3107	506	2547
280	1,48	4,5	1697	511	2553
320	1,58	4,78	2171	497	2559
360	1,66	4,72	5170	496	2541
400	1,75	5,81	5170	571	2565
440	1,84	6,62	3324	523	2615
480	1,92	4,04	20979	515	2577
514	2	4,27	2641	440	2887



BAB IV ANALISIS DATA

Tabel 4.1 menunjukkan hasil nilai tegangan Von Mises maksimum dan minimum yang didapat dari proses pengerolan menggunakan metode model plastisitas *bilinear isotropic*. Nilai tegangan Von Mises maksimum dan minimum yang dihasilkan selama proses berlangsung terjadi pada node yang berbeda pada tiap detik serta *substep* nya. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan yang terjadi selama proses pengerolan berlangsung pada tiap area *slab metal* yang



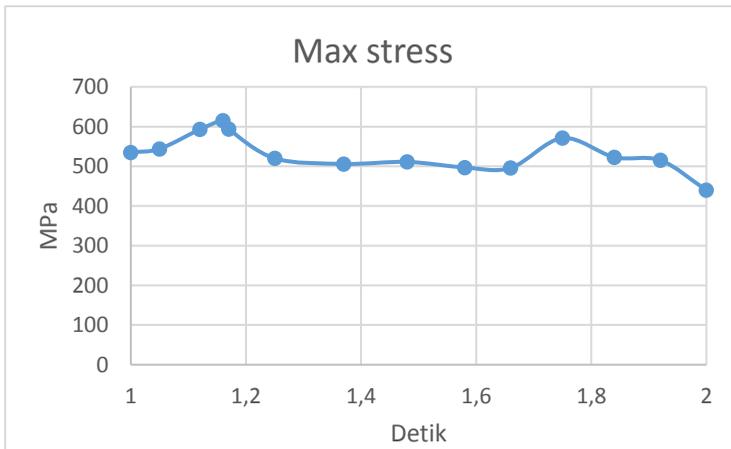
berbeda.

Gambar 4.2 Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan *bilinear isotropic*

Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa grafik nilai minimum tegangan von mises yang di peroleh pada awal pengerolan (saat *slab metal* di press) hingga berakhirnya proses model plastisitas, terus mengalami kenaikan sedikit demi sedikit, pada detik 1,84 nilai tegangan Von Mises yang dihasilkan mencapai titik puncak sebesar 6,62 MPa, yang kemudian di ikuti oleh penurunan hingga detik 2 dengan nilai tegangan minimum akhir sebesar 4,27 MPa.



Naiknya nilai tegangan minimum dari awal proses *pressing* hingga akhir proses *rolling* sesuai dengan hukum model plastisitas *isotropic* yang menyatakan bahwa sesaat material mulai mengeras dikarenakan oleh perubahan plastis, permukaan luluh akan berekspansi dalam ruang tegangan (*stress space*).



Gambar 4.3 Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan *bilinear isotropic*.

Disisi lain, nilai maksimum tegangan pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa grafik secara umum mengalami penurunan meskipun diawal proses pengerolan (setelah melewati *loadstep* 1, detik 1) mengalami kenaikan namun setelah melewati detik 1,17, tegangan Von Mises dari 594 MPa turun secara perlahan hingga 496 MPa pada detik 1,66. Walaupun grafik pada gambar 4.3 secara umum mengalami penurunan tetapi pada beberapa titik terdapat sedikit kenaikan yang terjadi diantara lain saat detik 1,75, dengan nilai tegangan Von Mises sebesar 571 MPa. Turunnya nilai tegangan maksimum yang dihasilkan



BAB IV ANALISIS DATA

selama proses berlangsung diakibatkan oleh adanya pelepasan tegangan yang terjadi seiring berjalannya waktu.

4.1.2 Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model Plastisitas Multilinear *Isotropic*

Hasil dari simulasi proses pengerolan velg truk yang telah dilakukan menggunakan metode model plastisitas *multilinear isotropic* berupa *von mises stress*.

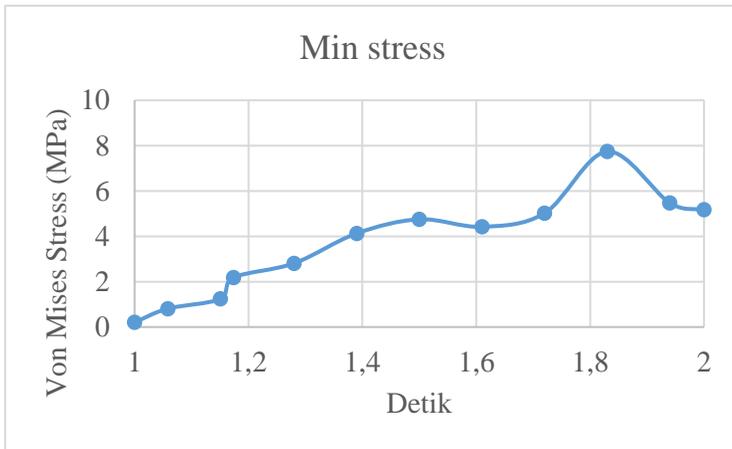
Tabel 4.3 Nilai tegangan maksimum dan minimum pada proses pengerolan menggunakan *multilinear isotropic*

<i>Substep</i>	Detik	Min stress (MPa)	Nodes	Max stress (MPa)	Nodes
35	1	0,21	8270	542	7617
40	1,0582	0,81	1697	545	7587
80	1,1504	1,24	2287	562	7587
120	1,17359	2,18	2287	540	7420
160	1,28	2,81	2287	516	7592
200	1,39	4,13	4044	524	7594
240	1,5	4,75	1697	522	7596
280	1,61	4,42	5156	520	7598
320	1,72	5,02	1613	528	7600
360	1,83	7,74	5156	528	7602
400	1,94	5,47	3305	515	7604
429	2	5,17	10981	507	7606

Tabel 4.3 menunjukkan hasil nilai tegangan Von Mises maksimum dan minimum yang didapat dari proses pengerolan menggunakan metode model plastisitas *multilinear isotropic*. Nilai tegangan Von Mises maksimum dan minimum yang dihasilkan selama proses berlangsung terjadi pada node yang berbeda pada tiap detik serta *substep* nya. Hal ini menunjukkan



bahwa konsentrasi tegangan yang terjadi selama proses pengerolan berlangsung pada tiap area *slab metal* yang berbeda.



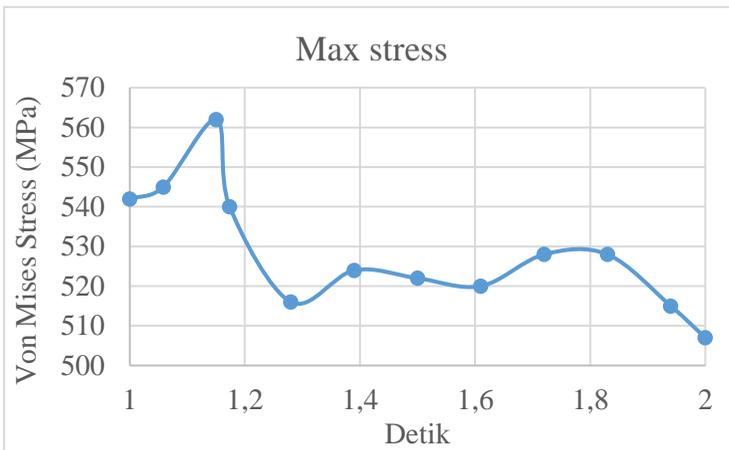
Gambar 4.4 Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan *multilinear isotropic*

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa grafik nilai minimum tegangan von mises yang di peroleh pada awal pengerolan (saat *slab metal* di press) hingga berakhirnya proses model plastisitas, terus mengalami kenaikan sedikit demi sedikit, walaupun pada detik 1,83 nilai tegangan Von Mises yang dihasilkan menunjukkan kenaikan cukup signifikan sebesar 7,74 MPa, yang kemudian di ikuti oleh penurunan hingga detik 2 dengan nilai tegangan minimum akhir sebesar 5,17 MPa.



BAB IV ANALISIS DATA

Naiknya nilai tegangan minimum dari awal proses *pressing* hingga akhir proses *rolling* sesuai dengan hukum model plastisitas *isotropic* yang menyatakan bahwa sesaat material mulai mengeras dikarenakan oleh perubahan plastis, permukaan luluh akan berekspansi dalam ruang tegangan (*stress space*).



Gambar 4.5 Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan *multilinear isotropic*.

Disisi lain, nilai maksimum tegangan pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa grafik secara umum mengalami penurunan meskipun diawal proses pengerolan (setelah melewati *loadstep* 1, detik 1) mengalami kenaikan namun setelah melewati detik 1.15, tegangan Von Mises dari 562 MPa turun secara signifikan hingga 516 MPa pada detik 1.28. Meskipun grafik pada gambar 4.11 secara umum mengalami penurunan namun pada beberapa titik terdapat sedikit kenaikan yang terjadi diantara lain saat detik 1.39 dan detik 1.83, dengan nilai tegangan Von Mises secara berurutan sebesar 524 MPa, dan 528 MPa. Turunnya nilai tegangan maksimum yang dihasilkan selama proses



berlangsung diakibatkan oleh adanya pelepasan tegangan yang terjadi seiring berjalannya waktu.

4.1.3 Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Nonlinear *Isotropic*

Hasil dari simulasi proses pengerolan velg truk yang telah dilakukan menggunakan metode model plastisitas *nonlinier isotropic* berupa *von mises stress*.

Tabel 4.4 Nilai tegangan maksimum dan minimum pada proses pengerolan menggunakan *nonlinear isotropic*

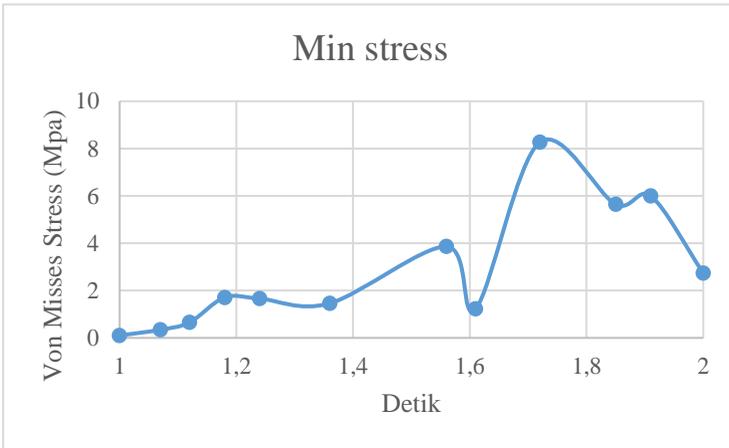
<i>Substep</i>	Detik	Min stress (Mpa)	Nodes	Max stress (Mpa)	Nodes
36	1	0,101	2294	298	17508
10	1,07	0,346	8699	301	2404
20	1,12	0,656	8699	293	7420
30	1,18	1,71	2287	296	4877
40	1,24	1,66	1222	284	5894
60	1,36	1,46	8699	282	3431
90	1,56	3,86	3259	322	2277
100	1,61	1,23	8026	331	2210
120	1,72	8,27	3175	350	2198
140	1,85	5,64	2287	386	2194
150	1,91	6	18897	395	7064
164	2	2,74	3076	356	2045

Tabel 4.4 menunjukkan hasil nilai tegangan Von Mises maksimum dan minimum yang didapat dari proses pengerolan menggunakan metode model plastisitas *nonlinear isotropic*. Nilai tegangan Von Mises maksimum dan minimum yang



BAB IV ANALISIS DATA

dihasilkan selama proses berlangsung terjadi pada node yang berbeda pada tiap detik serta *substep* nya. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan yang dihasilkan selama proses pengerolan berlangsung pada tiap area *slab metal* yang berbeda.



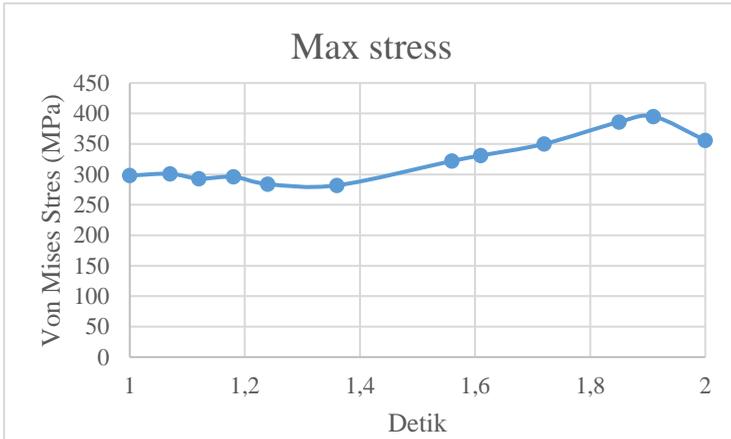
Gambar 4.6 Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan *nonlinear isotropic*.

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa grafik nilai minimum tegangan von mises yang di peroleh pada awal pengerolan (saat *slab metal* di press) hingga berakhirnya proses model plastisitas secara umum mengalami kenaikan, walaupun pada detik 1,56 tegangan Von Mises mengalami penurunan mencapai nilai 3,86 MPa yang kemudian dilanjut hingga kenaikan tertinggi pada detik 1.72 dengan nilai tegangan Von Mises sebesar 8.27 MPa. Setelah itu penurunan terus terjadi hingga detik 2 dengan nilai tegangan minimum akhir sebesar 2.74 MPa.

Naiknya nilai tegangan minimum dari awal proses *pressing* hingga akhir proses *rolling* sesuai dengan hukum model plastisitas *isotropic* yang menyatakan bahwa sesaat material mulai mengeras dikarenakan oleh perubahan plastis,



permukaan luluh akan berekspansi dalam ruang tegangan (*stress space*).



Gambar 4.7 Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan *nonlinear isotropic*.

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa grafik nilai tegangan maksimum Von Mises diawal proses pengerolan mengalami penurunan hingga detik 1,36 dengan nilai sebesar 282 MPa. Secara umum tegangan maksimum Von Mises setelah detik 1,36 mengalami kenaikan gradual hingga detik 1,91 dengan nilai tegangan maksimum sebesar 395 MPa. Diakhir proses pengerolan pada detik 2 nilai tegangan maksimum Von Mises kembali turun sebesar 356 MPa.

4.1.4 Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Tiga Metode Model Plastisitas

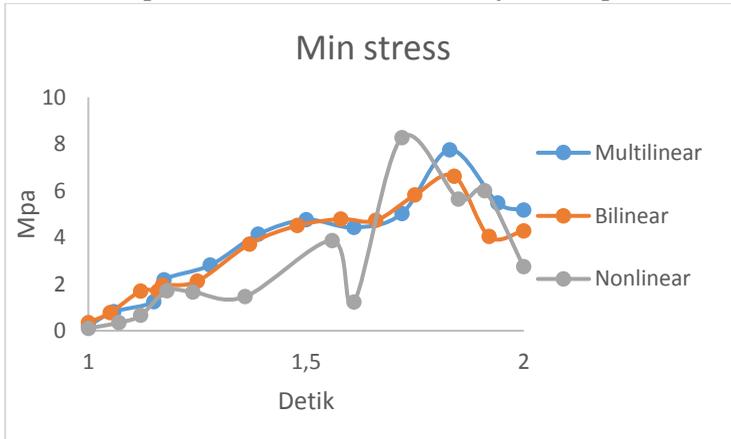
Proses pengerolan yang disimulasikan pada penelitian ini menggunakan tiga metode model plastisitas yang berbeda, antara lain adalah model plastisitas *bilinear isotropic*, *multilinear isotropic*, dan *nonlinear isotropic*. Setiap metode



BAB IV ANALISIS DATA

model plastisitas memiliki karakteristik berbeda dalam menyelesaikan simulasi.

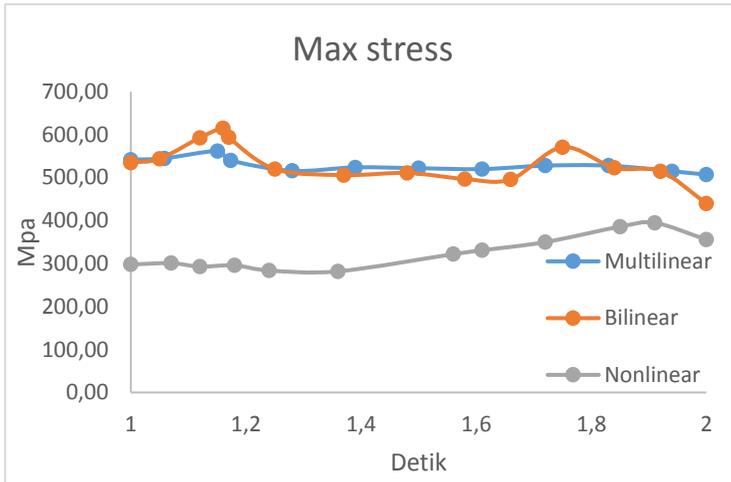
Model plastisitas *bilinear isotropic* dideskripsikan oleh kurva tegangan regangan bilinear. Dimana *slope* awal dari kurva tersebut merupakan nilai modulus elastisitas pada material. Melewati nilai awal tegangan luluh σ_0 , regangan plastis semakin naik dan kurva tegangan-total regangan berlanjut sepanjang garis bersamaan dengan *slope* yang di definisikan sebagai nilai tangent modulus E_T . Nilai tangent modulus tidak dapat kurang dari 0 atau melebihi modulus elastisitas. Sedikit berbeda dengan *bilinear isotropic*, sifat model plastisitas *multilinear isotropic* dipengaruhi oleh kurva tegangan-regangan plastis yang digambarkan oleh banyak fungsi linear pada kurva tegangan-total regangan, yang dimulai dan didefinisikan oleh beberapa set nilai tegangan dan regangan positif. (Ansys Help, 2016). Sifat yang dipengaruhi oleh model plastisitas *nonlinear* sendiri dijelaskan pada Bab 2.



Gambar 4.8 Grafik nilai tegangan minimum pada proses pengerolan menggunakan 3 metode model plastisitas.



Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa ketiga metode model plastisitas mengalami tren yang secara umum naik, meskipun pada model plastisitas *nonlinear* terdapat sedikit penurunan nilai tegangan von mises yang cukup signifikan setelah melewati detik 1,5. Nilai tegangan minimum yang diperoleh pada model plastisitas *bilinear* dan *multilinear* hampir sama dari proses pengerolan dimulai hingga berakhir, hanya terdapat perbedaan titik puncak dimana pada detik 1,83 nilai tegangan von mises *multilinear* sebesar 7,74 MPa dan *bilinear* sebesar 6,62 MPa pada detik 1,84. Diakhir proses pengerolan saat *slab metal* secara penuh telah terdeformasi (detik 2), diperoleh nilai tegangan minimum pada tiap metode model plastisitas sebesar 5,17 MPa untuk *multilinear*, 4,27 MPa untuk *bilinear*, dan 2,74 Mpa untuk *nonlinear*. Terlihat bahwa secara umum model plastisitas multilinear menghasilkan nilai tegangan minimum paling besar diantara ketiga metode model plastisitas lainnya selama proses pengerolan berlangsung. Hal ini dikarenakan fungsi linear pada kurva tegangan-regangan total yang dimiliki *multilinear* lebih besar dibandingkan model plastisitas *bilinear* yang hanya mencapai nilai tangent modulus, dan *nonlinear* yang berdasarkan nilai koefisien linearnya.



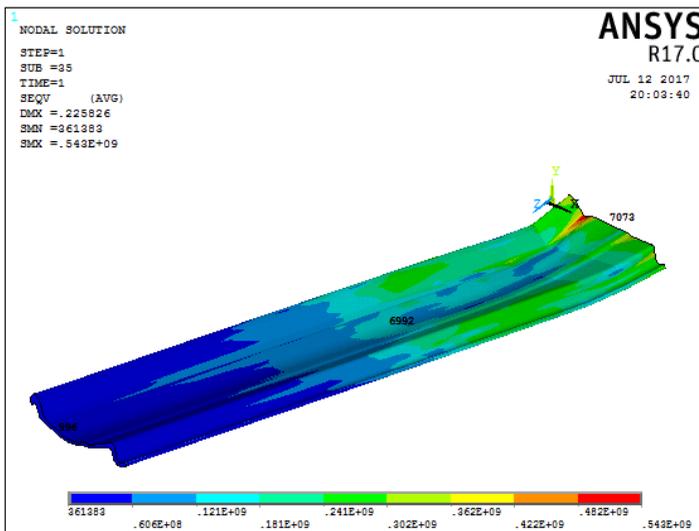
Gambar 4.9 Grafik nilai tegangan maksimum pada proses pengerolan menggunakan 3 metode model plastisitas.

Gambar 4.9 merupakan grafik perbandingan nilai tegangan maksimum selama proses pengerolan pada model plastisitas *multilinear*, *bilinear*, dan *nonlinear*. Sedikit berbeda dengan grafik pada gambar 4.10 yang mengalami kenaikan terhadap nilai tegangan minimum yang dihasilkan. Secara umum maksimum stress yang dihasilkan pada tiap metode model plastisitas mengalami penurunan, namun berbeda untuk metode model plastisitas nonlinear yang mengalami kenaikan setelah detik 1,4. Penurunan yang tidak begitu signifikan selama proses model plastisitas pada *bilinear* dan *multilinear* diakibatkan oleh konsentrasi tegangan yang merata selama proses pengerolan berlangsung dan terus berpindah mengikuti rotasi yang diberikan oleh rol.



4.2 Nilai Von Mises *Stress* Pengerolan Velg Truk pada 3 Titik

Selama proses model plastisitas berlangsung tiap node pada hasil simulasi pengerolan velg truk mengalami gaya yang berbeda akibat *pressing*, dan proses *rolling*. Perubahan pada nilai tegangan Von Mises selama pengerolan berlangsung dijelaskan pada tiga titik berbeda dimana node 996 yang berlokasi pada ujung *slab metal* yang tidak mengalami *pressing* pada awal proses deformasi, node 6992 yang berlokasi tepat ditengah *slab metal*, dan node 7073 yang berada pada ujung *slab metal* yang diawal mengalami *pressing* oleh *bull roll*. Ilustrasi posisi tiap node pada *slab metal* dijelaskan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Posisi node 996, 6992, dan 7073 pada *slab material*.



BAB IV ANALISIS DATA

4.2.1 Nilai Von Mises *Stress* dengan Model plastisitas Bilinear *Isotropic* pada 3 Titik

Hukum model plastisitas isotropik menyatakan bahwa permukaan luluh akan tetap berada ditengah pada titik awalnya dan meluas dalam daerah saat regangan plastis berkembang.

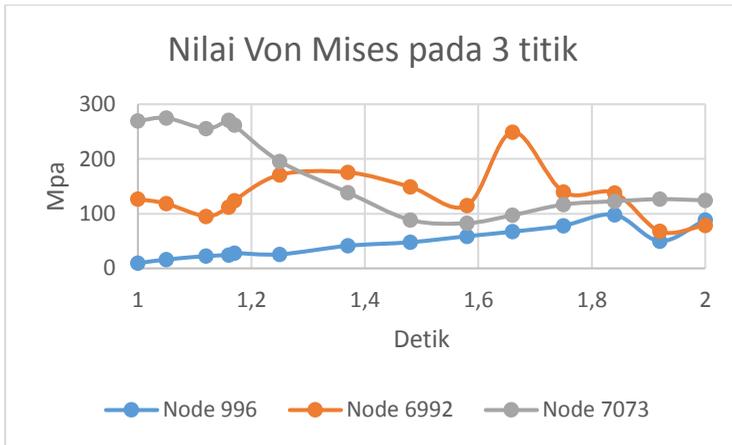
Tabel 4.5 Nilai tegangan Von Mises pada 3 titik node berdasarkan metode bilinear *isotropic*.

<i>Substep</i>	Detik	Von mises stress (Mpa)		
		Node 996	Node 6992	Node 7073
27	1	9,54	126,8	269,5
40	1,05	16,23	118,4	274,9
80	1,12	22,51	95,3	255,59
120	1,16	24,63	112,1	270,6
160	1,17	28,05	124,05	261,7
200	1,25	25,75	171,09	195,7
240	1,37	41,3	175,48	138,79
280	1,48	47,8	148,9	88,69
320	1,58	58,8	114,9	82,7
360	1,66	67,1	249,3	97,2
400	1,75	78,2	139,94	116,67
440	1,84	98,07	137,91	122,74
480	1,92	49,95	67,69	126,49
514	2	88,5	78,4	124,4

Tabel 4.5 menunjukkan nilai tegangan Von Mises yang diperoleh selama proses pengerolan berlangsung berdasarkan metode model plastisitas *bilinear isotropic*. Nilai yang diambil dimulai saat *slab metal* telah mengalami deformasi akibat *displacement* oleh *bull roll* (detik 1) dan menyentuh tepat pada



permukaan *center roll* hingga *slab metal* terdeformasi penuh akibat rotasi oleh *center roll* dan *bull roll* (detik 2).



Gambar 4.11 Grafik nilai Von Mises pada Node 996, Node 6992, dan Node 7073 berdasarkan metode *bilinear isotropic*.

Perbedaan yang cukup signifikan pada nilai Von Mises yang dihasilkan terlihat pada ke tiga node saat dimulainya proses pengerolan (detik 1) berdasarkan gambar 4.11. Dimana node 996 yang berada pada ujung *slab metal* yang tidak mengalami deformasi sama sekali, memiliki nilai tegangan Von Mises sebesar 9,54 Mpa. Disisi lain, node 6992 yang berada ditengah *slab metal* memiliki nilai 126,8 Mpa, dan node 7073 yang tepat berada pada daerah yang mengalami deformasi sepenuhnya, memiliki nilai tegangan Von Mises paling besar diantara ke tiga node dengan nilai 269,5 Mpa.

Dapat diamati pada gambar 4.16 bahwa node 996 terus mengalami kenaikan nilai tegangan Von Mises sedikit demi sedikit selama proses model plastisitas berlangsung. Kenaikan ini diakibatkan oleh distribusi tegangan yang dihasilkan pada



BAB IV ANALISIS DATA

daerah area *slab metal* yang mengalami deformasi, tidak signifikannya kenaikan yang dialami diakibatkan oleh tidak adanya gaya yang diperoleh secara langsung oleh node 996 berdasarkan posisinya yang berada diujung *slab metal* dimana area tersebut tidak mengalami kontak sama sekali dengan rol yang ada.

Node 6992 di awal proses pengerolan mengalami penurunan gradual pada nilai tegangan Von Mises, namun ketika mencapai detik 1,37 nilai tegangan naik hingga 175,48 Mpa yang kemudian kembali turun hingga detik 1,58 dengan nilai tegangan sebesar 114,9 Mpa. Setelah itu node 6992 mengalami kenaikan secara signifikan pada nilai tegangan Von Mises hingga 249,3 Mpa pada detik 1,66. Seiring dengan naiknya nilai tegangan node 6992, disisi lain node 7073 mengalami penurunan nilai tegangan Von Mises yang sangat signifikan hingga mencapai nilai terendahnya sebesar 82,7 Mpa pada detik 1,58, perbedaan selang detik yang begitu dekat menunjukkan bahwa *slab metal* mengalami deformasi plastis akibat rotasi oleh *center roll* dan *bull roll* yang menyebabkan pelepasan tegangan (*stress release*) pada node 7073 dan sebaliknya pada node 6992 terjadi konsentrasi tegangan. Turunnya nilai tegangan Von Mises pada node 6992 setelah melewati detik 1,66 juga menunjukkan terjadinya pelepasan tegangan dan berakhirnya deformasi plastis.

4.2.2 Nilai Von Mises Stress dengan Model plastisitas Multilinear Isotropic pada 3 Titik

Nilai maksimum dan minimum yang diperoleh selama proses model plastisitas, titik dimana terjadi perubahan nilai tegangan Von Mises ditentukan pada node 996, node 6992, dan node 7073 juga dibahas pada metode model plastisitas *multilinear isotropic*.



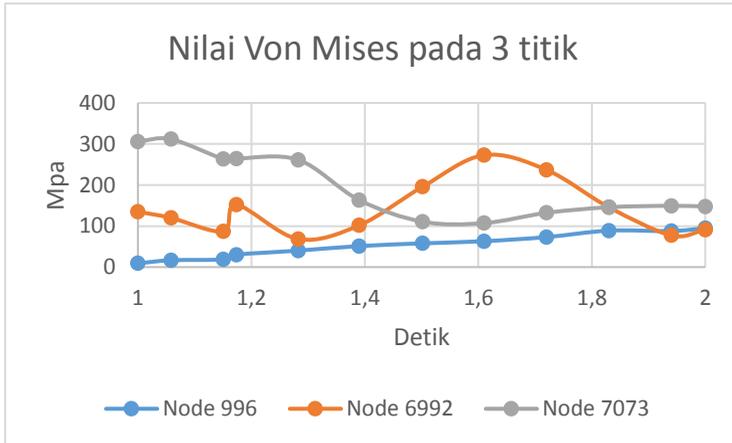
Tabel 4.6 Nilai tegangan Von Mises pada 3 titik node berdasarkan multilinear *isotropic*

<i>Substep</i>	Detik	Von mises stress (Mpa)		
		Node 996	Node 6992	Node 7073
35	1	9,25	135	306
40	1,0582	16,7	120	311,8
80	1,1504	18,7	87,1	263,4
120	1,17359	30,2	152,1	264,3
160	1,2825	40,23	68,41	261,5
200	1,39	51,2	101,7	163,4
240	1,5018	57,9	195,8	110,7
280	1,61	63,1	272,9	107,2
320	1,72	73,1	237	132,2
360	1,83	88,89	145,9	145,9
400	1,94	87,9	77,37	149,4
420	2	94,96	91,16	147,6

Tabel 4.6 menunjukkan nilai tegangan Von Mises yang diperoleh selama proses pengerolan berlangsung berdasarkan metode model plastisitas *multilinear isotropic*. Nilai yang diambil dimulai saat *slab metal* telah mengalami deformasi akibat *displacement* oleh *bull roll* (detik 1) dan menyentuh tepat pada permukaan *center roll* hingga *slab metal*



terdeformasi penuh akibat rotasi oleh *center roll* dan *bull roll* (detik 2).



Gambar 4.12 Grafik nilai Von Mises pada Node 996, Node 6992, dan Node 7073 dengan multilinear isotropik.

Perbedaan yang cukup signifikan pada nilai Von Mises yang dihasilkan terlihat pada ke tiga node saat dimulainya proses pengerolan (detik 1) berdasarkan gambar 4.17. Dimana node 996 yang berada pada ujung *slab metal* yang tidak mengalami deformasi sama sekali, memiliki nilai tegangan Von Mises sebesar 9,25 Mpa. Disisi lain, node 6992 yang berada ditengah *slab metal* memiliki nilai 135 Mpa, dan node 7073 yang tepat berada pada daerah yang mengalami deformasi sepenuhnya, memiliki nilai tegangan Von Mises paling besar diantara ke tiga node dengan nilai 306 Mpa.

Dapat diamati pada gambar 4.17 bahwa node 996 terus mengalami kenaikan nilai tegangan Von Mises sedikit demi sedikit selama proses model plastisitas berlangsung. Kenaikan ini diakibatkan oleh distribusi tegangan yang dihasilkan pada daerah area *slab metal* yang mengalami deformasi, tidak



signifikannya kenaikan yang dialami diakibatkan oleh tidak adanya gaya yang diperoleh secara langsung oleh node 996 berdasarkan posisinya yang berada diujung *slab metal* dimana area tersebut tidak mengalami kontak sama sekali dengan rol yang ada.

Node 6992 di awal proses pengerolan mengalami penurunan gradual pada nilai tegangan Von Mises, namun ketika mencapai detik 1,17352 nilai tegangan naik hingga 152,1 MPa yang kemudian kembali turun hingga detik 1.2825 dengan nilai tegangan sebesar 68.41 MPa. Setelah itu node 6992 mengalami kenaikan secara signifikan pada nilai tegangan Von Mises hingga 272,9 MPa pada detik 1,61. Seiring dengan naiknya nilai tegangan node 6992, disisi lain node 7073 mengalami penurunan nilai tegangan Von Mises yang sangat signifikan hingga mencapai nilai terendahnya sebesar 107,2 MPa pada detik yang sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa *slab metal* mengalami deformasi plastis akibat rotasi oleh *center roll* dan *bull roll* yang menyebabkan pelepasan tegangan (*stress release*) pada node 7073 dan sebaliknya pada node 6992 terjadi konsentrasi tegangan. Turunnya nilai tegangan Von Mises pada node 6992 setelah melewati detik 1,61 juga menunjukkan terjadinya pelepasan tegangan dan berakhirnya deformasi plastis.

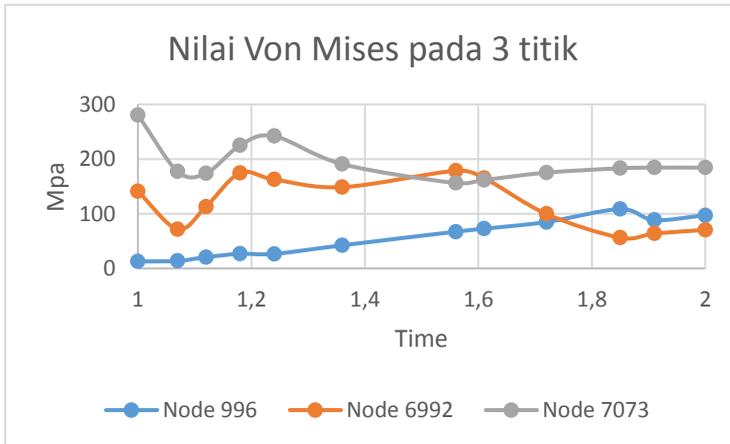


4.2.3 Nilai Von Mises *Stress* dengan Model plastisitas *Nonlinear Isotropic* pada 3 Titik

Tabel 4.7 Nilai tegangan Von Mises pada 3 titik node dengan *nonlinear isotropic*

<i>Substep</i>	Detik	Von mises stress (Mpa)		
		Node 996	Node 6992	Node 7073
35	1	12,7	141	280,6
40	1,07	13,8	71,9	177,3
80	1,12	20,6	113	173,7
120	1,18	26,8	174,5	224,9
160	1,24	26,6	162,7	241,9
200	1,36	42,26	148,5	190,8
240	1,56	67,15	178,5	156,1
280	1,61	72,6	165,3	161,7
320	1,72	84,8	99,6	175,1
360	1,85	108,4	56,26	183,1
400	1,91	88,4	63,74	184,3
420	2	97,15	70,5	184,3

Tabel 4.7 menunjukkan nilai tegangan Von Mises yang diperoleh selama proses pengerolan berlangsung berdasarkan metode model plastisitas *nonlinear isotropic*. Nilai yang diambil dimulai saat *slab metal* telah mengalami deformasi akibat *displacement* oleh *bull roll (time 1)* dan menyentuh tepat pada permukaan *center roll* hingga *slab metal* terdeformasi penuh akibat rotasi oleh *center roll* dan *bull roll (time 2)*.



Gambar 4.13 Grafik nilai Von Mises pada Node 996, Node 6992, dan Node 7073 dengan nonlinear isotropik.

Gambar 4.13 merupakan grafik hasil nilai tegangan Von Mises pada Node 996, Node 6992, dan Node 7073 menggunakan metode model plastisitas nonlinear isotropik. Terlihat bahwa diawal proses *pressing* setiap node pada *slab metal* memiliki perbedaan nilai yang berbeda, dimana node 996 menghasilkan tegangan Von Mises paling rendah sebesar 12,7 MPa, node 6992 sebesar 141 MPa, dan node 7073 sebesar 280,6 MPa. Nilai tegangan yang dihasilkan tiap node pada detik 1 sangat dipengaruhi oleh gaya yang dihasilkan *bull roll* saat mendeformasi *slab metal*. Dimana node 7073 bersentuhan langsung dengan *bull roll* sehingga menghasilkan nilai tegangan paling tinggi diantara yang lainnya, node 6992 yang berada di tengah *slab metal* juga mengalami distribusi tegangan akibat gaya oleh *bull roll*, dan disisi lain node 996 memperoleh nilai tegangan Von Mises paling rendah dikarenakan posisinya yang sangat jauh sehingga distribusi tegangan yang diterima tidak sebanyak dua node lainnya.

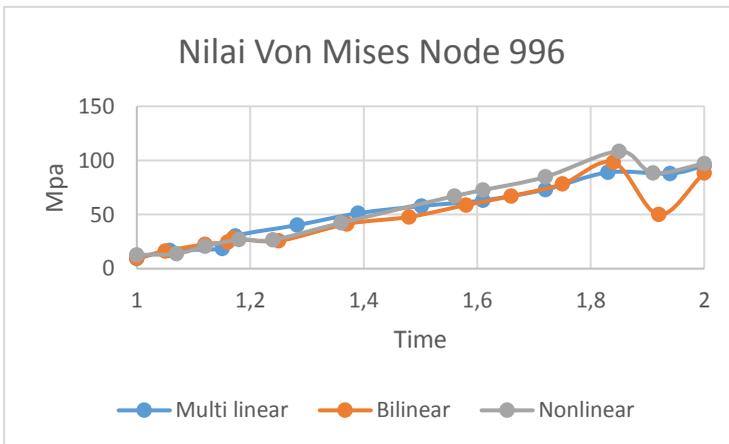


BAB IV ANALISIS DATA

Terlihat pada gambar 4.18 sedikit demi sedikit nilai tegangan mulai naik menandakan proses pengerolan sedang berlangsung. Pada detik 1,56 node 6992 yang berlokasi ditengah *slab metal* mencapai nilai tegangan Von Mises yang paling tinggi sebesar 178,5 MPa, disisi lain node 7073 mencapai nilai tegangan terendahnya sebesar 156,1 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan sedang berlangsung pada daerah sekitar node 6992 dari gaya yang terjadi akibat rotasi oleh *bull roll*, dan node 7073 yang berada di ujung *slab metal* mengalami pelepasan tegangan.

Node 996 selama proses pengerolan berlangsung terus mengalami kenaikan sedikit demi sedikit yang menunjukkan bahwa distribusi tegangan terus terjadi pada daerah sekitar node 996.

4.2.4 Perbandingan Nilai Von Mises Stress pada Node 996



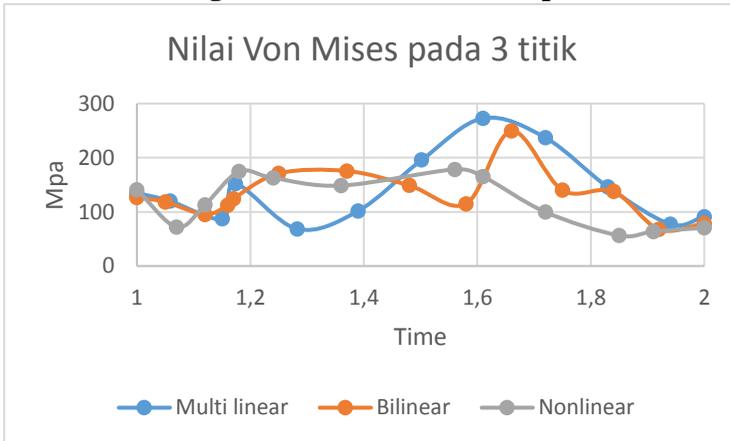
Gambar 4.14 Grafik perbandingan nilai Von Mises pada Node 996 dengan tiga metode model plastisitas.



Nilai tegangan von mises yang diperoleh pada Node 996 berbeda pada tiap metode model plastisitas. Grafik pada gambar 4.14 mengilustrasikan perbandingan nilai tegangan yang diperoleh node 996 selama proses pengerolan berlangsung menggunakan tiga metode model plastisitas berbeda.

Terlihat pada gambar 4.14 bahwa tren yang terjadi pada ketiga metode model plastisitas hampir sama dan tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Setiap metode model plastisitas menunjukkan kenaikan yang sama pada node 996.

4.2.5 Perbandingan Nilai Von Mises *Stress* pada Node 6992



Gambar 4.15 Grafik perbandingan nilai Von Mises pada Node 6992 dengan tiga metode model plastisitas.

Perubahan signifikan yang terjadi pada node 6992 selama proses model plastisitas berlangsung dikarenakan pada tiap detiknya node 6992 terus mengalami proses model plastisitas. Namun secara umum pada ketiga metode model plastisitas nilai tegangan Von Mises terus naik hingga sekitar detik 1,5 hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan

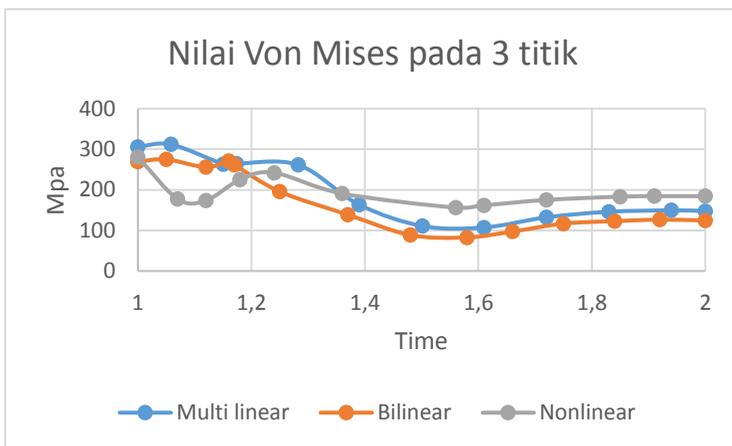


BAB IV ANALISIS DATA

tepat berada pada daerah sekitar node 6992 dan deformasi plastis secara penuh terjadi ditunjukkan nilai tegangan Von Mises tertinggi yang diperoleh tiap metode model plastisitas dengan nilai terbesar pada multilinear sebesar 272,9 MPa diikuti oleh bilinear sebesar 249,3 MPa dan terkecil pada nonlinear sebesar 178,5.

Ketiga metode model plastisitas kembali mengalami penurunan nilai tegangan Von Mises diakhir proses pengerolan diakibatkan oleh konsentrasi tegangan yang terlepas dan proses pengerolan telah bergeser ke area lain pada *slab metal*.

4.2.6 Perbandingan Nilai Von Mises *Stress* pada Node 7073



Gambar 4.21 Grafik perbandingan nilai Von Mises pada Node 7073 dengan tiga metode pengerolan.

Pada Gambar 4.21 terlihat bahwa grafik perbandingan nilai Von Mises pada node 7073 dengan tiga metode model plastisitas yang berbeda secara umum mengalami penurunan.

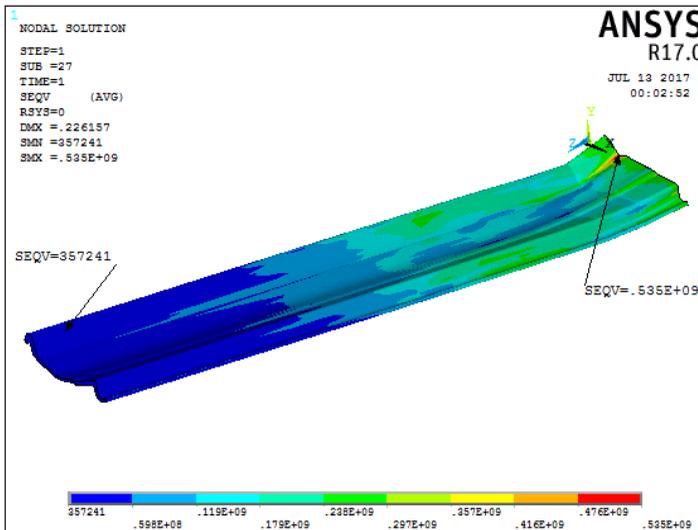


Hal ini diakibatkan oleh pelepasan tegangan yang terjadi setelah proses *pressing* berakhir dan dilanjut rotasi oleh *roller* yang menempel pada *slab metal*.

4.3 Distribusi Tegangan Von Mises Stress

Hasil dari simulasi proses pengerolan velg truk yang telah dilakukan menggunakan tiga metode model plastisitas berupa *von mises stress*. Perubahan pada tiap area yang mengalami deformasi dapat dilihat dari perbedaan warna yang menunjukkan konsentrasi tegangan yang dihasilkan pada daerah terkait. Setiap metode model plastisitas menghasilkan distribusi tegangan yang berbeda dan akan dibahas pada subab ini.

4.3.1 Distribusi Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Bilinear *Isotropic*

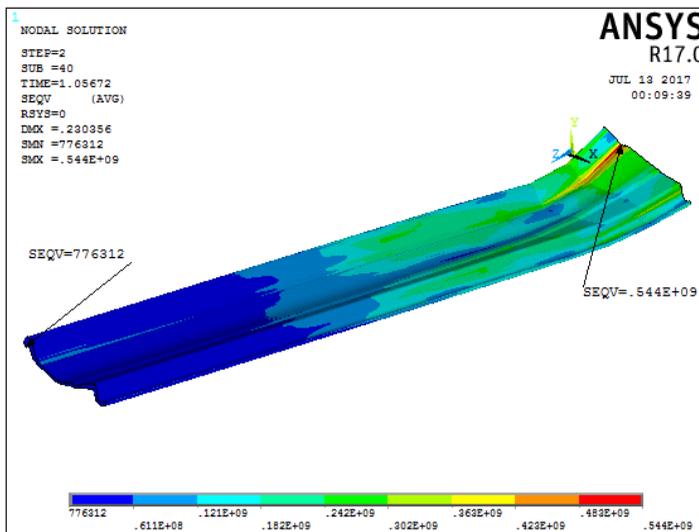


Gambar 4.17. Von Mises Stress pada *load step 1 bilinear isotropic*



BAB IV ANALISIS DATA

Gambar 4.17 menunjukkan distribusi tegangan yang didapat dari simulasi pengerolan velg truk menggunakan metode pengerasa *bilinear isotropic* pada saat *load step* 1 setelah *bull roll* diberi perpindahan sebesar 0,5 ke arah sumbu Y negative, disisi lain pada gambar 4.18 menunjukkan hasil distribusi tegangan yang didapat saat *slab metal* mulai mengalami deformasi akibat rotasi oleh *bull roll* serta *center roll*. Dari gambar hasil simulasi yang ada dapat dilihat persebaran tegangan yang terjadi pada proses *pressing* yang kemudian dilanjut rotasi oleh rol.



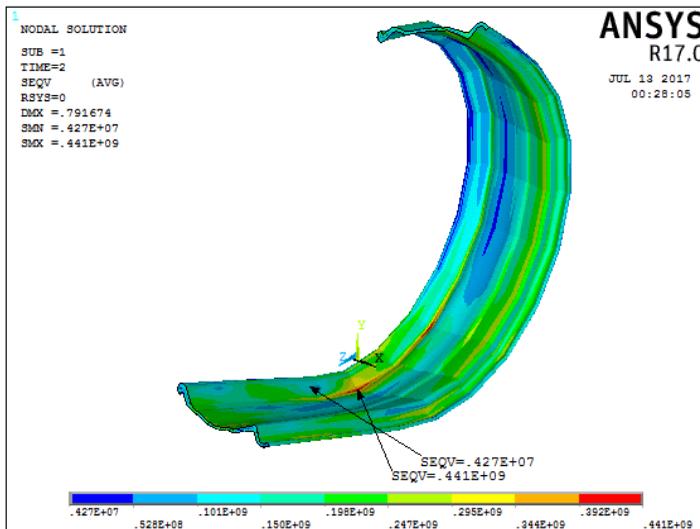
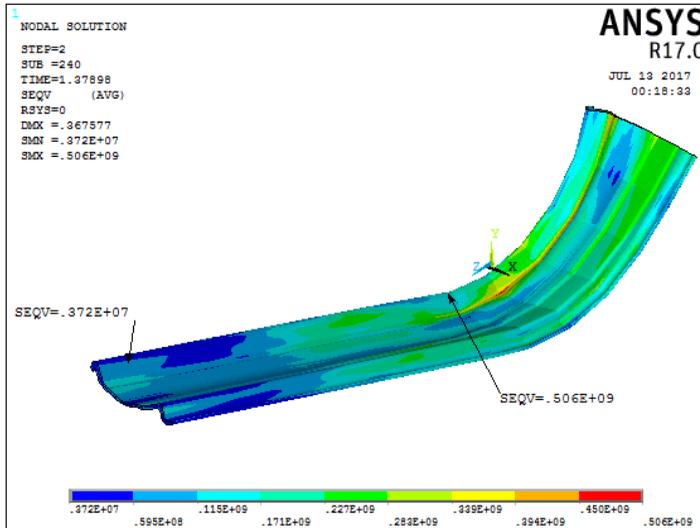
Gambar 4.18. Von Mises Stress load step 2 (sub step 40) *bilinear isotropic*

Persebaran menunjukkan bahwa tegangan tertinggi yang terjadi pada proses *pressing* ditunjukkan dengan daerah berwarna merah saat mencapai *load step* 1. Daerah berwarna merah ini merupakan daerah dimana proses awal deformasi terjadi. Nilai maksimum *von mises stress* pada kondisi *pressing* sebesar 535 MPa. Pada saat rol berotasi, didapat nilai *von mises*

BAB IV ANALISIS DATA



stress sebesar 544 MPa, dengan kondisi area berwarna merah yang semakin melebar menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan pada area tersebut semakin besar.



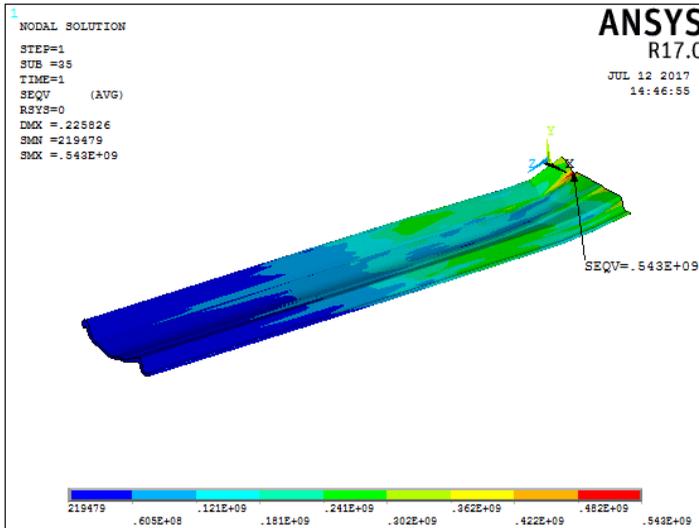
Gambar 4.19. Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 240 dan 514) bilinear isotropik.



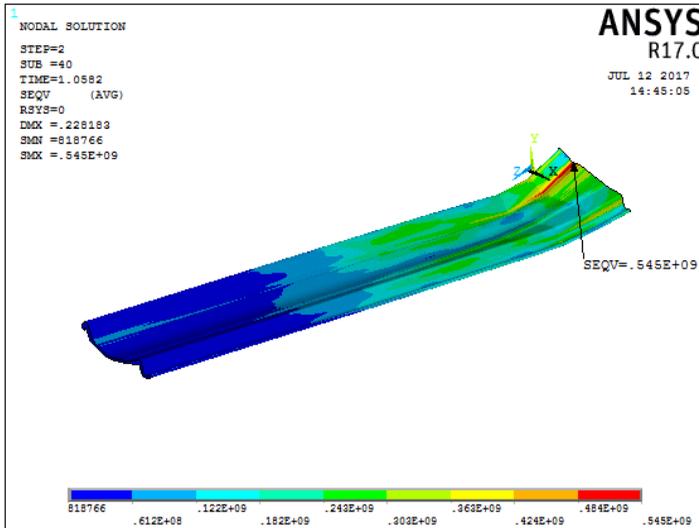
Gambar 4.19 merupakan hasil distribusi tegangan yang didapat dari simulasi proses rotasi rol sebesar π dan 2π oleh *bull roll* dan *center roll* sebagai lanjutan gambar 4.18. Dari gambar hasil simulasi yang ada dapat dilihat persebaran tegangan yang terjadi pada proses *rolling* lanjutan ditandai oleh perbedaan warna yang dapat diamati. Selain itu dari persebaran tersebut dapat dilihat bahwa tegangan tertinggi yang terjadi pada proses *rolling* ditunjukkan dengan daerah berwarna merah. Daerah berwarna merah menunjukkan konsentrasi tegangan tertinggi yang diakibatkan rotasi oleh *bull roll* dan *center roll*. Nilai maksimum *von mises stress* saat *raw material* mengalami rotasi π pada *sub step* 240 sebesar 506 MPa. Pada saat rotasi mencapai 2π nilai maksimum *von mises stress* berkurang menjadi 441 MPa. Hal ini menunjukkan adanya pelepasan gaya yang terjadi pada saat proses rol berakhir, yang mengakibatkan nilai tegangan maksimum pada daerah konsentrasi menurun. Tegangan maksimum yang terdapat pada proses saat kondisi *pressing* serta *rolling/rotating* selalu berada pada posisi yang sama yaitu pada daerah yang bersentuhan langsung dengan *bull roll* serta *center roll*.

4.3.2 Distribusi Nilai Maksimum dan Minimum Von Mises Stress dengan Model plastisitas Multilinear Isotropic

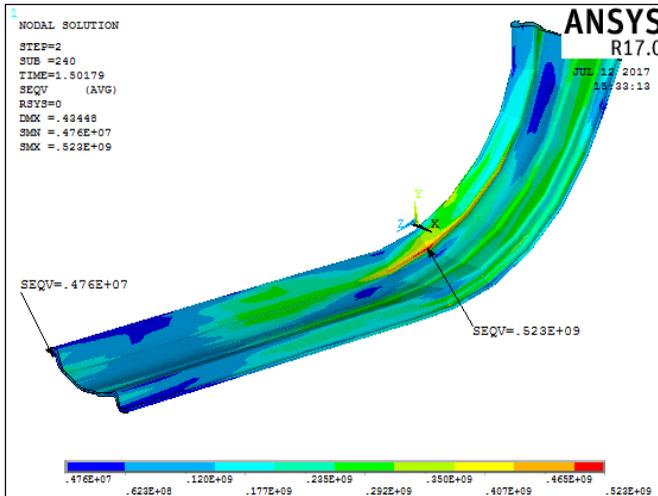
Gambar 4.20 menunjukkan distribusi tegangan yang didapat dari simulasi pengerolan velg truk pada saat *load step* 1 setelah *bull roll* diberi perpindahan sebesar 0.5 ke arah sumbu Y negative, disisi lain pada gambar 4.26. menunjukkan hasil distribusi tegangan yang didapat saat *slab metal* mulai mengalami deformasi akibat rotasi oleh *bull roll* serta *center roll*. Dari gambar hasil simulasi yang ada dapat dilihat persebaran tegangan yang terjadi pada proses *pressing* yang



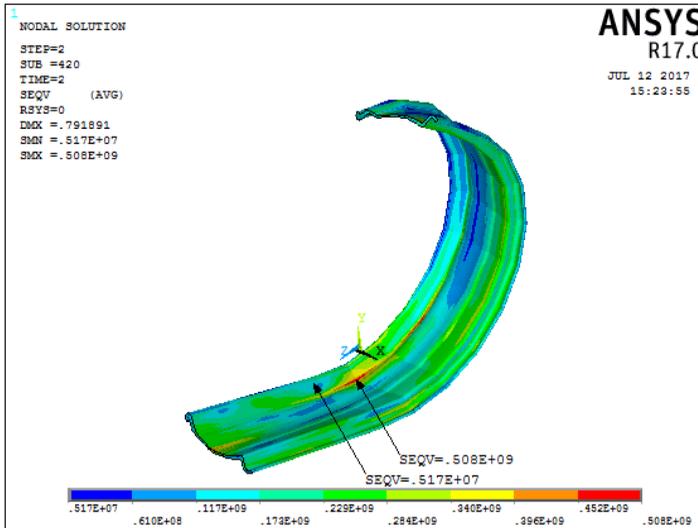
Gambar 4.20. Von Mises Stress pada load step 1 multilinear. kemudian dilanjut rotasi oleh rol. Persebaran menunjukkan bahwa tegangan tertinggi yang terjadi pada proses *pressing* ditunjukkan dengan daerah berwarna merah saat mencapai load step 1. Daerah berwarna merah ini merupakan daerah dimana proses awal dari deformasi terjadi. Nilai maksimum von mises stress pada kondisi *pressing* sebesar 543 MPa. Pada saat rol berotasi, didapat nilai von mises stress sebesar 545 MPa, dengan kondisi area berwarna merah yang semakin melebar menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan pada area tersebut semakin besar.



Gambar 4.21. Von Mises Stress pada load step 2 multilinear.



Gambar 4.22. Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 240) multilinear



Gambar 4.23. Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 420) multilinear.

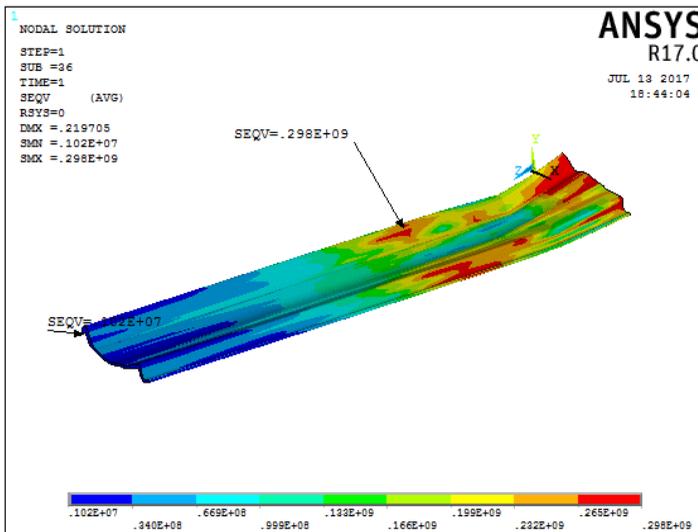
Gambar 4.22 dan gambar 4.23 merupakan hasil distribusi tegangan yang didapat dari simulasi proses rotasi rol sebesar π dan 2π secara berurutan oleh *bull roll* dan *center roll* sebagai lanjutan gambar 4.21. Dari gambar hasil simulasi yang ada dapat dilihat persebaran tegangan yang terjadi pada proses *rolling* lanjutan ditandai oleh perbedaan warna yang dapat diamati. Selain itu dari persebaran tersebut dapat dilihat bahwa tegangan tertinggi yang terjadi pada proses *rolling* ditunjukkan dengan daerah berwarna merah. Daerah berwarna merah menunjukkan konsentrasi tegangan tertinggi yang diakibatkan rotasi oleh *bull roll* dan *center roll*. Nilai maksimum *von mises stress* saat *raw material* mengalami rotasi π pada *sub step* 240 sebesar 523 MPa. Pada saat rotasi mencapai 2π nilai maksimum *von mises stress* berkurang menjadi 508 MPa. Hal ini menunjukkan adanya pelepasan gaya yang terjadi pada saat



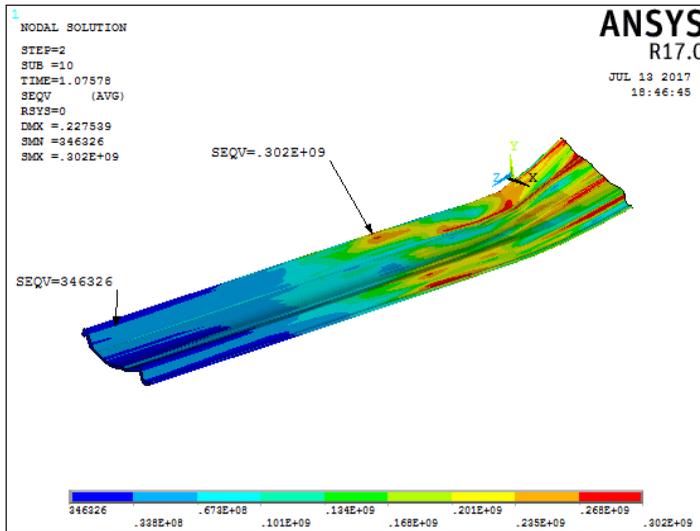
BAB IV ANALISIS DATA

proses rol berakhir, yang mengakibatkan nilai tegangan maksimum pada daerah konsentrasi menurun. Tegangan maksimum yang terdapat pada proses saat kondisi *pressing* serta *rolling/rotating* selalu berada pada posisi yang sama yaitu pada daerah yang bersentuhan langsung dengan *bull roll* serta *center roll*.

4.3.3 Pengerolan Velg Truk dengan Model plastisitas Nonlinear *Isotropic*



Gambar 4.24. Von Mises Stress pada load step 1 nonlinear.

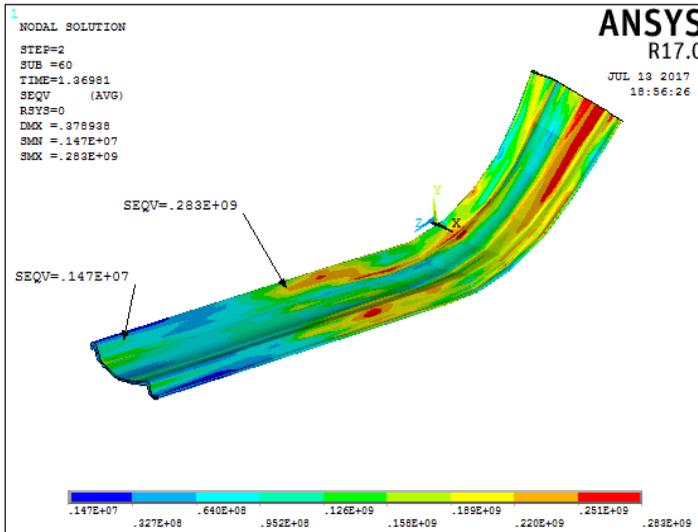


Gambar 4.25. Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 10) nonlinear.

Gambar 4.24. menunjukkan distribusi tegangan yang didapat dari simulasi pengerolan velg truk pada saat *load step* 1 setelah *bull roll* diberi perpindahan sebesar 0,5 kearah sumbu Y negative, disini lain pada gambar 4.25 menunjukkan hasil distribusi tegangan yang didapat saat *slab metal* mulai mengalami deformasi akibat rotasi oleh *bull roll* serta *center roll*. Dari gambar hasil simulasi yang ada dapat dilihat persebaran tegangan yang terjadi pada proses *pressing* yang kemudian dilanjut rotasi oleh rol. Persebaran menunjukkan bahwa tegangan tertinggi yang terjadi pada proses *pressing* ditunjukkan dengan daerah berwarna merah saat mencapai *load step* 1. Daerah berwarna merah ini merupakan daerah dimana proses awal dari deformasi terjadi. Nilai maksimum *von mises stress* pada kondisi *pressing* sebesar 298 MPa. Pada saat rol berotasi yang ditandai dengan dimulainya *load step* 2, didapat nilai *von mises stress* sebesar 302 MPa, dengan kondisi

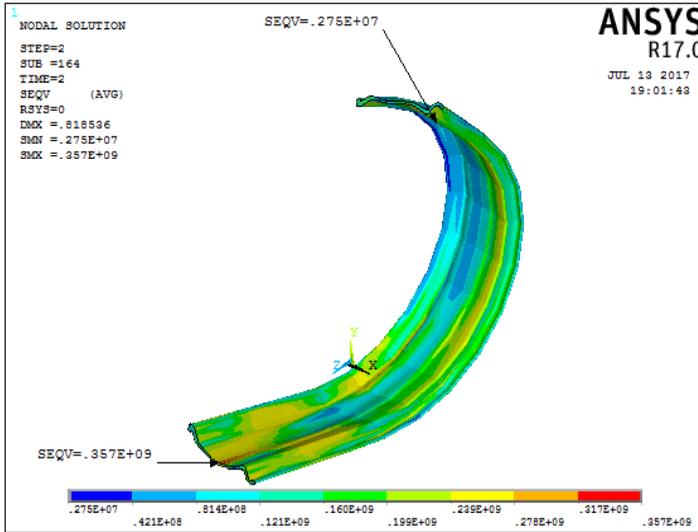


area berwarna merah yang semakin menyempit menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan pada area tersebut semakin besar.



Gambar 4.26. Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 90) nonlinear.

Gambar 4.26 dan gambar 4.27 merupakan hasil distribusi tegangan yang didapat dari simulasi proses rotasi rol sebesar π dan 2π oleh *bull roll* dan *center roll* sebagai lanjutan gambar 4.25. Dari gambar hasil simulasi yang ada dapat dilihat persebaran tegangan yang terjadi pada proses *rolling* lanjutan ditandai oleh perbedaan warna yang dapat diamati. Selain itu dari persebaran tersebut dapat dilihat bahwa tegangan tertinggi yang terjadi pada proses *rolling* ditunjukkan dengan daerah berwarna oranye. Daerah berwarna oranye menunjukkan konsentrasi tegangan tertinggi yang diakibatkan rotasi oleh *bull roll* dan *center roll*. Nilai maksimum *von mises stress* saat *raw material* mengalami rotasi π pada *sub step* 240 sebesar 323 MPa. Pada saat rotasi mencapai 2π nilai maksimum *von mises*



Gambar 4.27. Von Mises Stress pada load step 2 (sub step 164) nonlinear

stress naik menjadi 357 MPa. Perubahan warna yang cukup signifikan terjadi pada daerah yang seharusnya mengalami konsentrasi tegangan terbesar yaitu pada permukaan dimana *bull roll* dan *center roll* saling menempel dengan *slab metal*. Terlihat pada gambar 4.26 distribusi tegangan pada permukaan tersebut didominasi oleh warna oranye yang menunjukkan nilai *von mises stress* sebesar 287 MPa, disini lain pada gambar 4.27 daerah konsentrasi tegangan di dominasi oleh warna kuning yang menunjukkan nilai *von mises stress* sebesar 278 MPa. Hal ini menunjukkan adanya pelepasan gaya yang terjadi pada saat proses rol berakhir, yang mengakibatkan nilai tegangan maksimum pada daerah konsentrasi menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang diuraikan pada BAB IV, maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Nilai tegangan minimum yang dihasilkan selama proses pengerolan mengalami kenaikan dari awal hingga akhir, dimana pada detik 2 untuk tiap-tiap model plastisitas bernilai 4,27 MPa pada *bilinear isotropic*, 5,17 MPa pada *multilinear isotropic*, dan 2,74 MPa pada *nonlinear isotropic*.
2. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan terus mengalami penurunan dikarenakan oleh pelepasan tegangan yang terjadi selama proses pengerolan. Dimana pada detik 2 untuk tiap-tiap model plastisitas bernilai 440 MPa pada *bilinear isotropic*, 507 MPa pada *multilinear isotropic*, dan 356 MPa pada *nonlinear isotropic*.
3. Konsentrasi tegangan tertinggi terdapat pada daerah permukaan *slab metal* yang dikenai gaya oleh *bull roll* baik itu *pressing* maupun *rotation*.
4. Metode pengerasan *multilinear isotropic* menunjukkan nilai paling besar pada hasil tegangan Von Mises saat akhir proses pengerolan, dengan nilai tegangan maksimum sebesar 507 MPa.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya yang menggunakan simulasi kontak permukaan, sebaiknya nilai temperature akibat adanya gaya gesek yang timbul di jadikan salah satu parameter.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Besseling, J. F. 1958 “A Theory of Elastic, Plastic, and Creep Deformations of an Initially Isotropic Material Showing Anisotropic Strain-Hardening, Creep Recovery, and Secondary Creep.” **ASME Journal of Applied Mechanics**.
- Callister, W.D., 2007, **The Seveth Edition of Materials Science and Engineering An Introduction**, New York : Jhon Willey & Sons
- Fang, G., Gao, W., Zhang, X., June 2015. “Finite Element Simulation and Experiment Verification of Rolling Forming for the Truck Wheel Rim“, **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing** 16, 7:1509-1515
- Hao, J., Luo, Z., Dong, J.T., & Zhang, J.W. 2011 “FEM simulation and analysis of variable parameters for the three-roll cylindrical bending of plate process”. **Advanced Materials Research** 160-162, 809-814
- Hosford, William F., Caddell, Robert M. 2007. **Metal Forming: Mechanics and Metallurgy**. Cambridge University Press.
- Hua, M., Sansome , D.H., Rao, K.P., & Baines, K. 1994 “Continuous four-roll plate bending process: Its bending mechanism and influential parameters”. **Journal of Materials Processing Technology** 45, 181-186
- Kalpakjian, S., & Schmid, R. 2009. **Manufacturing Engineering and Technology**. Prentice Hall.
- Liu, Yijun. **Lecture Notes: Introduction to the Finite Element Method**. University of Cincinnati

- Meghashyam, P., Girivardhan, S., and Baba, N. Sayed, Aug. 2013
“Design and Analysis of Wheel Rim using CATIA & ANSYS”. **International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management**
- Prager, W. 1995. **The Theory of Plasticity: A Survey of Recent Achievements**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.
- Raj, M, Udayakumar, A., Selvarajan,S., 2013, “Innovative Concept of Correlating Roll Forming Process with Pressing Simulation by Using Altair HyprerWorks”, **Altair Technology Conference ;1:1-9.**
- Reddy, J.N. 1993, **An Introduction to Finite Element Method**, New York ; McGraw-Hill,Inc.
- Sluzalec, Andrzej. 2003. **Theory of Metal Forming Plasticity**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Valliappan, S., P. Boonlulohr, I. K. Lee. 1976. “Non-Linear Analysis for Anisotropic Materials.” **International Journal for Numerical Methods in Engineering**.

BIODATA PENULIS



Achmad Fajar Faisal, seorang anak lahir dari pasangan suami istri Bapak Ir. Hendro Sat Setijotomo dan Ibu Rini Setiawati ini merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis lahir di Jakarta, 14 Januari 1995. Hobi penulis diantaranya yaitu *TV Show*, Musik dan Travelling. Penulis memulai pendidikan formal di TK Islam Cikal Harapan, SDI Cikal Harapan, SMPN 11 Jakarta, SMAN 70 Jakarta dan menempuh pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Di masa kuliahnya penulis aktif berorganisasi di HMMT FTI ITS selama 2 tahun mulai dari menjadi staff Unit Kerja Khusus, hingga Kepala Unit Kerja Khusus HMMT FTI ITS. Email yang dapat dihubungi adalah ahmadf1995@gmail.com. Pengalaman kerja praktek yang pernah dilakukan yaitu di PetroChina International Ltd. Adapun judul Tugas Akhir penulis yaitu “**PENGARUH MODEL PLASTISITAS PADA SIMULASI TEGANGAN PENEROLAN RIM VELG TRUK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**”.