



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISIS DESAIN PROFIL RIM VELG *TRUCK* PADA PROSES Pengerolan DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

ASAD JABBAR NURU
NRP. 2713 100 128

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P.Hidayat, S.T, M.Sc, Ph.D
Alvian Toto, S.T., M.T

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



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISIS DESAIN PROFIL RIM VELG TRUCK PADA PROSES Pengerolan DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Asad Jabbar Nuru
NRP 2713 100 128

Dosen Pembimbing :
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.
Alvian Toto, S.T., M.T.

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

DESIGN ANALYSIS ON RIM PROFILE OF TRUCK WHEEL RIM AT ROLLING PROCESS WITH FINITE ELEMENT METHOD

Asad Jabbar Nuru
NRP 2713 100 128

Advisor :

Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.
Alvian Toto, S.T., M.T.

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

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

ASAD JABBAR NURU

NRP. 2713 100 128

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir :

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

Alvian Toto, S.T., M.T... .. (Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Desain Profil Rim Velg Truck Pada Proses Pengerolan Dengan Metode Elemen Hingga”**. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua, yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan ,keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
4. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
5. Bapak Alvian Toto, S.T., M.T selaku co dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu.
6. Bapak Budi Agung S.T., M.Sc Selaku dosen wali yang sangat mengayomi
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
8. Teman-teman Lab. Komputasi yang telah membantu tugas akhir saya selama 1 semester khususnya kepada Gregggy,

- Achmad, Fadli, Deshinta, Mas-Ibab MT14 yang sudah banyak memberi saran serta ilmu untuk tugas akhir
9. Keluarga MT15 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
 10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan baik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis,
Asad Jabbar Nuru

DAFTAR ISI

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material SS400	5
2.2 Metode Elemen Hingga	6
2.3 Bagian-Bagian Velg <i>Truck</i>	12
2.4 Pengaruh Desain Terhadap Konsentrasi Tegangan... 14	
2.5 Tegangan Sisa pada Proses Pembentukan Metal	16
2.6 Tegangan dan Regangan	18
2.7 Proses <i>Roll-Bending</i>	20
2.8 Deformasi Pada Proses Empat <i>Roll-Bending</i>	22
2.9 Penelitian Sebelumnya	25

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Spesifikasi Material Penelitian	32
3.2.1 Material Penelitian	32
3.2.2 Geometri Penelitian	33
3.3 Peralatan Penelitian	43

3.4	Prosedur Penelitian	44
3.4.1	Pemodelan Proses Pengerolan	45
3.4.2	Penentuan Tipe Elemen	45
3.4.3	Penentuan Sifat Material.....	46
3.4.4	<i>Meshing</i>	47
3.4.5	<i>Boundary Condition</i>	52
3.4.6	Tipe Pembebanan.....	52
3.4.7	Tipe Analisis	52
3.4.8	Validasi Penelitian	53
3.5	Langkah Penelitian.....	53
3.6	Variabel Penelitian.....	54
3.7	Rancangan Penelitian.....	55

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Proses <i>Pressing</i> Material.....	58
4.1.1	Proses <i>Pressing</i> Material 6.00 Lengkung	58
4.1.2	Proses <i>Pressing</i> Material 6.00 Lurus	61
4.1.3	Proses <i>Pressing</i> Material 7.50 Lurus	65
4.1.4	Proses <i>Pressing</i> Material 7.50 Lengkung	67
4.1.5	Perbandingan Rim 6.00 Lurus & 6.00 Lengkung pada Proses <i>Pressing</i>	69
4.1.6	Perbandingan Rim 7.50 Lurus & 7.50 Lengkung pada Proses <i>Pressing</i>	71
4.2	Proses Sesaat akan <i>Rolling</i>	72
4.2.1	Proses Sesaat akan <i>Rolling</i> Material Rim 6.00 Lengkung	72
4.2.2	Proses Sesaat akan <i>Rolling</i> Material Rim 6.00 Lurus	74
4.2.3	Proses Sesaat akan <i>Rolling</i> Material Rim 7.50 Lurus	75
4.2.4	Proses Sesaat akan <i>Rolling</i> Material Rim 7.50 Lengkung	77
4.2.5	Perbandingan Rim 6.00 Lurus dan 6.00 Lengkung Tepat <i>Rolling</i>	78

4.2.6	Perbandingan Rim 7.50 Lurus dan 7.50 Lengkung Tepat <i>Rolling</i>	81
4.3	Proses Setengah Putaran Penuh	84
4.3.1	Proses Setengah Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 6.00 Lengkung	84
4.3.2	Proses Setengah Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 6.00 Lurus	88
4.3.3	Proses Setengah Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 7.50 Lurus	90
4.3.4	Proses Setengah Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 7.50 Lengkung	92
4.3.5	Perbandingan Rim 6.00 Lurus & 6.00 Lengkung Proses Setengah Putaran Penuh	96
4.3.6	Perbandingan Rim 7.50 Lurus & 7.50 Lengkung Proses Setengah Putaran Penuh	98
4.4	Proses Putaran Penuh <i>Roll</i>	100
4.4.1	Proses Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 6.00 Lengkung ..	100
4.4.2	Proses Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 6.00 Lurus	102
4.4.3	Proses Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 7.50 Lurus	103
4.4.4	Proses Putaran Penuh <i>Roll</i> Rim 7.50 Lengkung ..	104
4.4.5	Perbandingan Proses Putaran Penuh Rim 6.00 Lurus dan Lengkung.....	106
4.4.6	Perbandingan Proses Putaran Penuh Rim 7.50 Lurus dan Lengkung.....	108
4.5	Perbandingan Diameter Rim Model dengan Kondisi Aktual.....	110
4.6	Proses Penekukan Ujung-Ujung Rim Dengan <i>Expanding Machine</i>	114

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	117
5.2	Saran	117

DAFTAR PUSTAKA	xxv
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Elemen Bar dengan Dua Nodes (i,j)	6
Gambar 2.2	Dua Elemen Bar Yang Dijepit Kedua Ujung Tepi dengan Diberi Gaya Sebesar P di Node Kedua.	9
Gambar 2.3	Bagian-bagian Velg <i>Truck</i>	13
Gambar 2.4	Penampang Melintang Rim <i>Multi-Piece</i>	13
Gambar 2.5	Penampang Melintang dari <i>Single-Piece</i> Rim	14
Gambar 2.6	Bar Berfilet	15
Gambar 2.7	Grafik Faktor Konsentrasi Tegangan	16
Gambar 2.8	Kurva <i>Engineering</i> Vs Kurva Sebenarnya.....	29
Gambar 2.9	Tegangan Tarik, Kompresi, Geser & Torsi ...	20
Gambar 2.10	Proses tiga <i>Roll-Bender</i>	21
Gambar 2.11	<i>Rolling Plate</i> dengan Empat Roll Bender	22
Gambar 2.12	Proses <i>Pre-Bending</i> Oleh Roller Depan	23
Gambar 2.13	Deformasi Plastik pada <i>Continous Rolling</i>	24
Gambar 2.14	<i>Roll</i> Belakang Berjalan Secara <i>Continous</i>	25
Gambar 2.15	Potongan Melintang <i>Single-Piece Rim</i>	26
Gambar 2.16	Model Rim <i>Flaring</i>	27
Gambar 2.17	Model <i>Multi-Step Rolling</i>	27
Gambar 2.18	Simulasi Model Modifikasi Mold untuk Mengurangi <i>Defect</i>	28
Gambar 2.19	Perbedaan Dimensi <i>Flange</i> Pada Proses Pengerolan Pertama	29
Gambar 2.20	Desain Asli <i>Mold</i>	29
Gambar 2.21	Modifikasi <i>Mold</i>	30
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3.2	Tampak Penuh Rim 6.00 Lengkung	33
Gambar 3.3	Tampak Penuh Rim 6.00 Lurus	34
Gambar 3.4	Tampak Penuh Rim 7.50 Lengkung	34
Gambar 3.5	Tampak Penuh Rim 7.50 Lurus	35
Gambar 3.6	Tampak <i>Roll</i> Atas Rim Lengkung	35
Gambar 3.7	Tampak Penuh <i>Roll</i> Atas Rim Lengkung	36
Gambar 3.8	Tampak <i>Roll</i> Bawah Rim Lengkung	36
Gambar 3.9	Tampak Penuh <i>Roll</i> Bawah Rim Lengkung ...	37

Gambar 3.10	Tampak <i>Roll</i> Depan Rim Lengkung	37
Gambar 3.11	Tampak Penuh <i>Roll</i> Depan Rim Lengkung	38
Gambar 3.12	Tampak <i>Roll</i> Belakang Rim Lurus	38
Gambar 3.13	Tampak Penuh <i>Roll</i> Belakang Rim Lurus	39
Gambar 3.14	<i>Roll</i> Atas dan Bawah Rim Lurus	39
Gambar 3.15	Tampak Penuh <i>Roll</i> Atas Rim Lurus	40
Gambar 3.16	Tampak Penuh <i>Roll</i> Bawah Rim Lurus	40
Gambar 3.17	<i>Roll</i> Belakang Rim Lurus	41
Gambar 3.18	Tampak Penuh <i>Roll</i> Belakang Rim Lurus	41
Gambar 3.19	<i>Roll</i> Depan Kanan Rim Lurus.....	42
Gambar 3.20	<i>Roll</i> Depan Bagian Kanan Rim Lurus	42
Gambar 3.21	Tampak Penuh <i>Roll</i> Depan Rim Lurus	43
Gambar 3.22	Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 3.23	<i>Preferences</i>	45
Gambar 3.24	Penentuan Tipe Elemen	46
Gambar 3.25	Penentuan Material Propertes	47
Gambar 3.26	Hasil <i>Meshing</i> Material 6.00 Lengkung.....	48
Gambar 3.27	Hasil <i>Meshing</i> Material 6.00 Lurus	48
Gambar 3.28	Hasil <i>Meshing</i> Material 7.50 Lengkung.....	49
Gambar 2.29	Hasil <i>Meshing</i> Material 7.50 Lurus	49
Gambar 3.30	Hasil <i>Meshing</i> Material 6.00 Lengkung Beserta Roller	50
Gambar 3.31	Hasil <i>Meshing</i> Material 6.00 Lurus Beserta Roller	50
Gambar 3.32	Hasil <i>Meshing</i> Material 7.50 Lurus Beserta Roller	51
Gambar 3.33	Hasil <i>Meshing</i> Material 7.50 Lengkung Beserta Roller	51
Gambar 4.1	Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lengkung Sesaat Akan Menyentuh <i>Roller</i> Bawah	58
Gambar 4.2	Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lengkung Sesaat Sebelum Akhir Proses <i>Pressing</i>	59

Gambar 4.3	Persebaran Tegangan Von Mises rim 6.00 Lengkung pada Akhir Proses <i>Pressing</i>	60
Gambar 4.4	Nilai Trend Tegangan Von Mises Material 6.00 Lengkung Pada Proses <i>Pressing</i>	61
Gambar 4.5	Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lurus Sesaat akan Menyentuh <i>Roller</i> Bawah	62
Gambar 4.6	Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lurus Sesaat Sebelum Akhir Proses <i>Pressing</i>	63
Gambar 4.7	Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lurus Pada Akhir Proses <i>Pressing</i>	64
Gambar 4.8	Nilai Trend Tegangan Von Mises Material Rim 6.00 Lurus Pada Proses <i>Pressing</i>	65
Gambar 4.9	Nilai Trend Tegangan Von Mises Material Rim 7.50 Lurus Pada Proses <i>Pressing</i>	65
Gambar 4.10	Nilai Perbandingan Tegangan Rim Lurus Pada Proses <i>Pressing</i>	67
Gambar 4.11	Nilai Trend Tegangan Von Mises Material Rim 7.50 Lengkung Pada Proses <i>Pressing</i>	67
Gambar 4.12	Nilai Perbandingan Tegangan Von Mises Material Rim Lengkung Proses <i>Pressing</i>	69
Gambar 4.13	Nilai Perbandingan Titik-Titik Konsentrasi Tegangan Rim 6.00 Proses <i>Pressing</i>	70
Gambar 4.14	Nilai Perbandingan Titik-Titik Konsentrasi Tegangan Rim 7.50 Proses <i>Pressing</i>	61
Gambar 4.15	Material Rim 6.00 Lengkung Kondisi Tepat Akan Bergerak Pada Detik 1.04	73
Gambar 4.16	Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi pada Daerah fillet Material Rim 6.00 Lengkung Sesaat akan <i>Rolling</i>	73
Gambar 4.17	Material Rim 6.00 Lurus yang Mengalami Perubahan Titik Tegangan Akibat <i>Rolling</i>	74
Gambar 4.18	Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi Pada Daerah <i>Fillet</i> Material 7.50 Sesaat Akan <i>Rolling</i>	75

Gambar 4.19	Material Rim 7.50 Lurus yang Mengalami Perubahan Titik Tegangan Akibat Proses <i>Rolling</i>	76
Gambar 4.20	Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi pada Daerah <i>Fillet</i> Material 7.50 Lurus Sesaat akan Proses <i>Rolling</i>	76
Gambar 4.21	Material Rim 7.50 Lengkung Kondisi Tepat Akan Bergerak pada Detik 1.04.....	77
Gambar 4.22	Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi pada Daerah <i>Fillet</i> Material Rim 7.50 Lengkung Sesaat akan <i>Rolling</i>	78
Gambar 4.23	Tumpuan Utama Rim 6.00 Lengkung pada Saat Tepat Akan Berputar.....	79
Gambar 4.24	Perpindahan Arah Konsentrasi Tegangan Rim 6.00 Sesaat Pengerolan Terjadi.....	80
Gambar 4.25	Perbandingan Nilai Tegangan Tertinggi pada <i>Fillet</i> Rim 6.00 Lurus & Lengkung	81
Gambar 4.26	Tumpuan Utama Rim 7.50 Lengkung pada Saat Tepat Akan Berputar.....	82
Gambar 4.27	Perpindahan Arah Konsentrasi Tegangan Rim 7.50 Lurus Saat Tepat Akan Pengerolan Terjadi.....	83
Gambar 4.28	Perbandingan Nilai Tegangan Tertinggi pada <i>Fillet</i> rim 7.50 Lurus vs 7.50 Lengkung	84
Gambar 4.29	Node 4158, Node 4199, Node 7533 Rim 6.00 Lengkung	86
Gambar 4.30	Titik Node 2543 yang Memiliki Tegangan Maksimum Saat Proses Setengah Putaran Penuh Roll	87
Gambar 4.31	Perubahan Tumpuan Rim 6.00 Lengkung.....	89
Gambar 4.32	Node 450 pada Material Rim 6.00 Lurus Ditandai Oleh Tanda Mx	90
Gambar 4.33	Node 806 pada Material Rim 7.50 Lurus.....	92
Gambar 4.34	Node 1851, Node 1853, Node 2063 Material Rim 7.50 Lengkung	94

Gambar 4.35	Titik Node 2873 yang Memiliki Tegangan Maksimum Saat Proses Setengah Putaran Penuh <i>Roll</i>	95
Gambar 4.36	Perubahan Tumpuan Rim 7.50 Lengkung.....	96
Gambar 4.37	Garis Konsentrasi Tegangan Node 2542-2543 Rim 6.00 Lengkung	98
Gambar 4.38	Garis Konsentrasi Tegangan Node 2873-2870 Rim 7.50 Lengkung	100
Gambar 4.39	Perbandingan Tegangan Von Mises Rim 6.00 Akhir Pengerolan	106
Gambar 4.40	Perbandingan Tegangan Von Mises Rim 7.50 Akhir Pengerolan	106
Gambar 4.41	Pengondisian <i>Roll</i> Belakang yang Langsung Lebih Tinggi dari <i>Roll</i> Depan	110
Gambar 4.42	Rim 6.00 Lengkung Mengalami Penekukan Langsung Tanpa Adanya <i>Sliding</i>	112
Gambar 4.43	Rim 7.50 Lurus Sebelum <i>Sliding</i>	113
Gambar 4.44	Rim 7.50 Lurus Setelah <i>Sliding</i>	114
Gambar 4.45	Proses Penyatuan Ujung-ujung Rim Sebelum Proses Pengelasan Dilakukan	115

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Kimia SS400.....	5
Tabel 2.2	Sifat Fisis SS400	6
Tabel 3.1	Jenis Geometri Rim.....	33
Tabel 3.2	Jumlah Elemen.....	47
Tabel 3.3	Tipe Pembebanan	52
Tabel 4.1	Pembebanan	57
Tabel 4.2	Von Mises Pilihan Rim 6.00 Lengkung.....	85
Tabel 4.3	Von Mises Pilihan Rim 6.00 Lurus.....	89
Tabel 4.4	Von Mises Node-Node Pilihan 7.50 Lurus.....	91
Tabel 4.5	Von Mises Node-Node Plilihan 7.50 Lengkung..	93
Tabel 4.6	Von Mises Pilihan Rim 6.00	97
Tabel 4.7	Von Mises Pilihan Rim 7.50	99
Tabel 4.8	Von Mises Rim 6.00 Lengkung Putaran penuh .	101
Tabel 4.9	Von Mises Rim 6.00 Lurus Putaran Penuh.....	102
Tabel 4.10	Von Mises Rim 7.50 Lurus Penuh Penuh	104
Tabel 4.11	Von Mises Rim 7.50 Lengkung Putaran penuh	105
Tabel 4.12	Perbandingan Diameter Rim.....	111

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Truck merupakan alat transportasi yang vital untuk menunjang perpindahan barang dari sektor kebutuhan rumah tangga, hingga sektor industri skala besar. *Truck* dapat menunjang fungsinya secara efektif apabila seluruh komponen-komponen truck dibuat dengan baik. Komponen-komponen tersebut dapat berupa sistem permesin, *carriage*, sistem suspensi dan rem, serta ban.

Salah satu komponen *truck* yang penting adalah ban, ban merupakan komponen utama *truck* yang menyebabkan truck dapat bergerak di jalan raya. Ban merupakan kesatuan komponen yang terdiri dari *tyre* dan velg. *Tyre* merupakan bagian dari ban yang memiliki sifat elastis dan terbuat dari komposit *polymer* yang berfungsi sebagai komponen utama yang bersentuhan langsung dengan jalan raya. Velg merupakan bagian dari ban yang memiliki sifat yang lebih kuat terhadap beban tegangan, serta bending momen.

Velg *truck* sendiri terdiri dari bagian rim yang berfungsi tempat diletakkannya *tyre* dan *disc* yang tersambung dengan poros yang berputar. Kedua komponen dalam velg *truck* memiliki metode manufaktur sendiri, rim umumnya dibuat dengan pengerolan plat yang memiliki profil tersendiri, sedangkan untuk *disk* biasanya diproduksi dengan memberikan *bending* terhadap plat lingkaran. Untuk menghasilkan velg *truck* yang baik tentunya diperlukan proses manufaktur yang baik pula. Apabila dibandingkan proses pembentukan *disk* dan rim, Proses pembentukan rim memiliki lebih banyak deformasi serta konsentrasi tegangan akibat proses pengerolan dibandingkan dengan proses bending pada bagian *disk*, hal tersebut tentu memberikan tantangan bagi para produsen *velg* untuk memproduksi



BAB I PENDAHULUAN

velg yang memiliki distribusi tegangan yang merata pada bagian rim setelah proses pengerolan.

Dalam dunia industri konsentrasi tegangan akibat proses manufaktur tidak dapat dihindari, konsentrasi tegangan biasanya ditekan sekecil mungkin, karena adanya konsentrasi tegangan akan meningkatkan sifat mekanik dari material pada titik yang mengalami konsentrasi tegangan, hal tersebut akan memberikan efek buruk terhadap daerah yang terkena konsentrasi berupa tidak homogennya kekuatan material. Salah satu pemicu konsentrasi tegangan adalah akibat geometri yang tidak rata ataupun pemberian bentuk geometri yang dapat menyebabkan konsentrasi tegangan; seperti *fillet*, *groove*, dan lain-lain. (Sigley, 2004).

Hal lain yang menjadi perhatian dalam proses manufaktur adalah nilai tegangan sisa setelah proses *metal forming*. Nilai tegangan sisa yang besar akan memberikan efek buruk terhadap proses manufaktur yang akan memicu kelentingan pada material dikarenakan tegangan sisa yang tinggi yang menghambat proses manufaktur. Dalam kebanyakan kasus tegangan sisa hasil dari *metal forming* diharapkan bernilai sekecil mungkin, dan biasanya untuk mengurangi tegangan sisa dilakukan proses laku panas yang cukup memakan waktu dan biaya (Toten dkk., 2002)

PT. Autokorindo Pratama selaku produsen *velg truck* memiliki dua jenis model *raw material* untuk proses pengerolan rim, yaitu yang memiliki banyak *fillet* pada bagian tegahnya dan satunya yang cenderung memiliki geometri lurus pada bagian tengahnya. Ketika proses pengerolan keduanya tentu memberikan hasil persebaran tegangan yang berbeda dikarenakan pada model yang memiliki banyak *fillet* deformasinya lebih besar dibandingkan model yang lurus. Secara kontrol kualitas model yang memiliki *fillet* juga lebih membutuhkan perhatian yang khusus.

Berdasarkan hal tersebut diperlukan investigasi lebih lanjut untuk mengetahui efek dari bentuk profil *raw material* pada proses pengerolan rim terhadap persebaran tegangan akhir pengerolan. Penelitian akan dilakukan dengan melakukan simulasi



BAB I PENDAHULUAN

dan analisa design profil velg *truck* dengan menggunakan sebuah metode bernama Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method* (FEM), analisa akan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ANSYS/Mechanical APDL 17.0*.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti oleh penulis dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana perbandingan tegangan pada proses pengerolan antara *raw material* yang memiliki lengkungan ditengah bagian dengan *raw material* yang cenderung lurus pada bagian tengah?
- b. Bagaimana efek geometri profil rim terhadap bentuk akhir diameter material ?

1.3. Batasan Masalah

Berikut batasan masalah dan asumsi dari penulis agar penelitian tugas akhir dapat berjalan dengan lancar :

- a. *Raw material* memiliki sifat mekanik dan fisika yang homogen sebelum pengerolan.
- b. Mode pengerasan menggunakan *bilinear isotropic*
- c. Efek temperatur diabaikan.
- d. *Roll* depan dan belakang memiliki posisi sejajar.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini, yaitu antara lain:

- a. Menganalisis perbandingan desain profil *raw material* terhadap persebaran tegangan pada proses pengerolan.
- b. Mengetahui efek profil terhadap bentuk akhir diameter material



BAB I PENDAHULUAN

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah mengaplikasikan ilmu material dan metalurgi yang telah dipelajari di bangku kuliah sebagai dasaran dalam penelitian ini serta memberikan referensi desain profil *raw material* yang akan menghasilkan kondisi akhir yang lebih baik untuk proses pengerolan rim velg *truck*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material SS400

SS400, merupakan baja struktural. SS400 memiliki standard JIS G3101 atau ekuivalen dengan ASTM A36. SS400 adalah baja umum (*mild steel*) dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P). SS400 biasa dipakai untuk aplikasi struktur atau konstruksi umum seperti konstruksi jembatan (*bridge*), pelat kapal laut, dan lain-lain

Baja SS400 adalah baja dengan kadar karbon rendah (max 0.17 %C) material ini tidak dapat di keraskan oleh perlakuan panas seperti proses *hardening*. Material ini hanya bisa dikeraskan melalui pengerasan permukaan seperti karburisasi (*carburizing*), *nitriding* atau *carbonitriding*, dimana kekerasan permukaan bisa mencapai 500 Brinell pada kedalaman permukaan 10 hingga 20 mikron tergantung parameter prosesnya. komposisi dan sifat kimia baja SS400 dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2

Tabel 2.1. Komposisi Baja SS400
(PT.Autokorindo Pratama)

STAND ARD	Komposisi Kimia (%)				
	C	Si	Mn	P	S
MILL SHEET	0.1100	0.1200	0.3700	0.0140	0.0270



Tabel 2.2. Sifat fisis baja SS400
(Ichiro,2001)

<i>Properties</i>	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	210	Gpa
<i>Poison Ratio</i>	0.29	-
<i>Density</i>	7800	Kg/m ²
<i>Yield Strength</i>	250	Mpa
<i>Tensile Strength</i>	700	Mpa

2.2. Metode Elemen Hingga

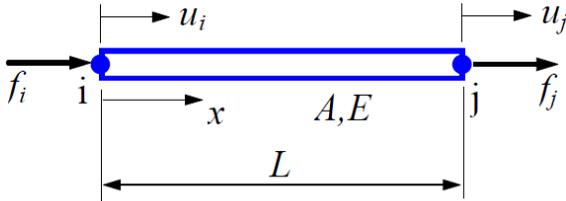
2.2.1. Teori Metode Elemen Hingga

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).

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

Berikut akan diturunkan sebuah contoh sederhana dari sebuah perhitungan bar untuk menghitung tegangan di dalam bar, dalam penurun ini bersifat linear statis dimana material memiliki sifat deformasi yang kecil, material bersifat elastis, dan beban yang statis.

Perhitungan analisis linear 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. Pada gambar 2.1 terdapat gambar sebuah elemen bar yang akan dianalisis berdasarkan metode elemen hingga.



Gambar 2.1. Elemen Bar dengan Dua Nodes (i,j)
(Yijun liu, 2003)

- A = Luas area tegak lurus
- L = Panjang
- E = Modulus Elastisitas
- U = Perpindahan
- \mathcal{E} = Regangan

Hubungan *strain- displacement*

$$\mathcal{E} = \frac{du}{dx} \quad (2.1)$$

Hubungan *stress- strain*

$$\sigma = E\mathcal{E} \quad (2.2)$$

Mengasumsi bahwa perpindahan berjalan linear terhadap sumbu axis

$$u(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right) u_i + \frac{x}{L} u_j \quad (2.3)$$

$$\mathcal{E} = \frac{u_j - u_i}{L} = \frac{\Delta}{L} \quad (2.4)$$

$$\sigma = E\mathcal{E} = \frac{E\Delta}{L} \quad (2.5)$$

Dengan menghubungkan rumus tegangan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

Menggabungkan rumus (2.5) dan rumus (2.6) menjadi

$$F = \frac{EA}{L} \Delta = k\Delta \quad (2.7)$$

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

$$k = \frac{EA}{L} \quad (2.8)$$

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

$$\frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_i \\ f_j \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

Untuk mendapatkan persamaan tegangan, perlu mendefinisikan persamaan linear berupa;

$$N_i(\xi) = 1 - \xi \quad N_j(\xi) = \xi \quad (2.10)$$

Dimana ;

$$\xi = \frac{x}{L} \quad 0 \leq \xi \leq 1 \quad (2.11)$$

Sehingga persamaan (2.6) dapat ditulis menjadi:

$$u(x) = u(\xi) = N_i(\xi)u_i + N_j(\xi)u_j \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) dapat dibuat menjadi lebih sederhana

$$u = [N_i \quad N_j] \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = \mathbf{N}u \quad (2.13)$$

Memasukan persamaan (2.1) kedalam persamaan (2.13) sehingga,

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

B adalah elemen dari matriks perpindahan regangan yang bernilai

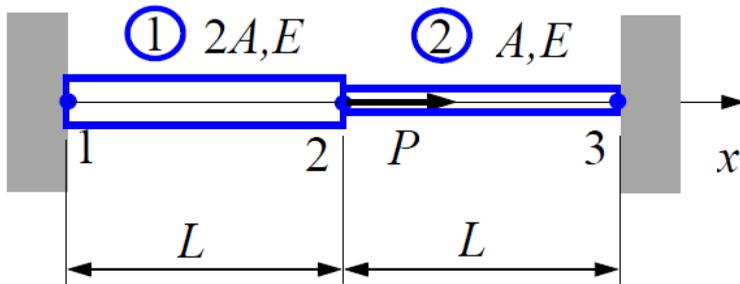


$$\mathbf{B} = \left[-\frac{1}{L} \quad \frac{1}{L} \right] \quad (2.15)$$

Sehingga nilai tegangan dapat dituliskan menjadi

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

Berikut ini akan dihitung tegangan dari sebuah sistem bar sederhana yang dijepit pada kedua ujungnya dijepit



Gambar 2.2. Dua Elemen Bar yang Dijepit Kedua Ujung Tepi dengan Diberi Gaya Sebesar P di Node Kedua (Yijun liu, 2003)

Menndefinisikan matriks kekakuan di setiap elemen menggunakan rumus (2.9)

Elemen 1,

$$\mathbf{k}_1 = \frac{2EA}{L} \begin{bmatrix} U_1 & U_2 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Elemen 2,

$$\mathbf{k}_1 = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} U_2 & U_3 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Membuat persamaan global dari persamaan elemen hingga



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

$$\mathbf{k} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 0 \\ -2 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{Bmatrix}$$

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

$$\frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 0 \\ -2 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ u2 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F1 \\ P \\ F3 \end{Bmatrix}$$

Membuat sederhana persamaan tersebut menjadi,

$$\frac{EA}{L} [3] \{u2\} = \{P\}$$

Sehingga nilai U_2 ,

$$u2 = \frac{PL}{3EA}$$

Sehingga nilai perpindahan di masing-masing node

$$\begin{Bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{Bmatrix} = \frac{PL}{3EA} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

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

Tegangan di elemen 1,

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= E\varepsilon_1 = \mathbf{EB1u1} = E \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u1 \\ u2 \end{Bmatrix} \\ &= E \frac{u2 - u1}{L} = \frac{E}{L} \left(\frac{PL}{3EA} - 0 \right) = \frac{P}{3A} \end{aligned}$$

Tegangan di elemen 2,



$$\begin{aligned}\sigma_2 &= E\varepsilon_2 = EB2u_2 = E \begin{bmatrix} -1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \\ &= E \frac{u_3 - u_2}{L} = \frac{E}{L} \left(0 - \frac{PL}{3EA} \right) = -\frac{P}{3A}\end{aligned}$$

2.2.2. 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* yang terintegrasi ke dalam ANSYS *Product*.

A. 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*.

B. 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.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

- b. *Elemen type*: *elemen type* adalah proses untuk memberikan atribut atau bentuk dari benda yang kita gambar untuk dianalisa, misalnya material yang kita gambar berbentuk solid, beam, shell, dll. Tiap-tiap atribut atau bentuk 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.

C. 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 *constraints* 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.

D. 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.

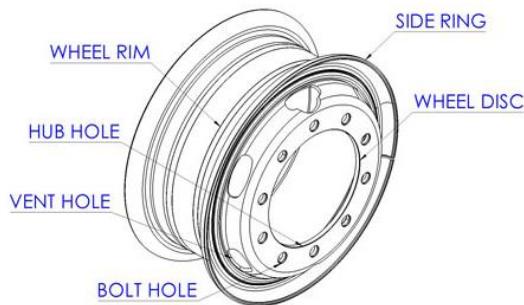
2.3. Bagian-bagian Velg Truck

Velg *truck* umumnya memiliki 3 bagian komponen utama, yaitu *base rim*, *side rim* dan bagian *disk*. Bagian *base rim*

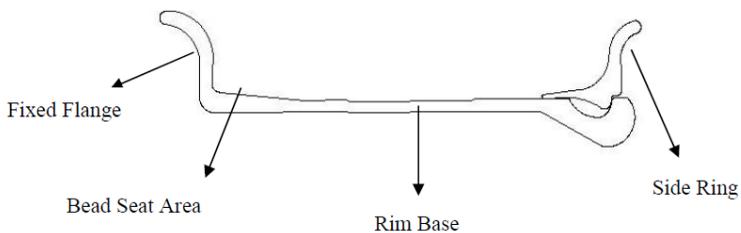


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

merupakan bagian rim yang memiliki penampang paling panjang dan merupakan tempat utama yang bersentuhan dengan *tyre*, sedangkan side rim adalah bagian rim yang memiliki penampang lebih kecil dan dapat dilepas ketika pemasangan atau pelepasan *tyre* dari bagian rim sehingga mempermudah pemasangan. *Disk* adalah bagian yang bersatu dengan poros *steel hub*, bagian *disk* juga memiliki banyak lubang yang difungsikan sebagai media perpindahan panas pada bagian *wheel rim*. Rim yang memiliki bagian base rim dan side rim disebut *multi-piece rim*.



Gambar 2.3. Bagian-bagian Velg Truck
(PT. Autokorindo Pratama,2017)



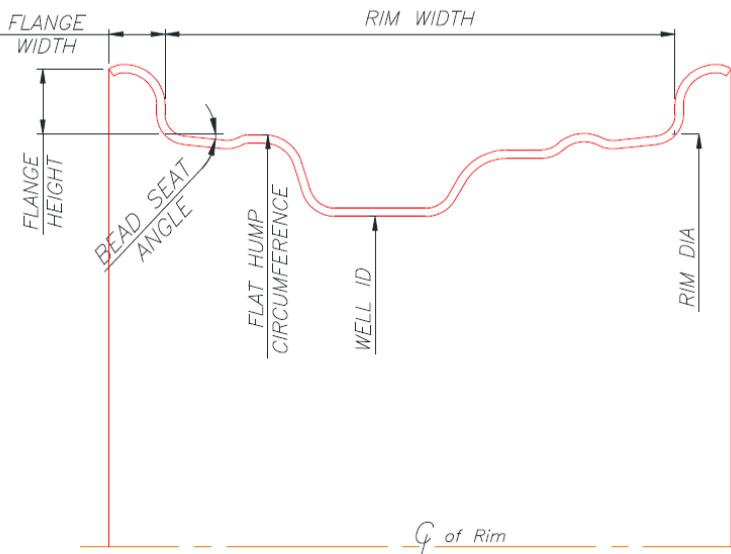
Gambar 2.4. Penampang Melintang Rim Bertipe *Multi-piece*
(C.Sandeep, 2004)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Selain itu pada mobil berjenis *passanger car* dengan rim bertipe *single-piece* memiliki penampang yang berbeda serta memiliki bagian – bagian dibawah ini;

- Rim width* adalah jarak antara satu *flange* ke *flange* lainnya.
- Flange* adalah bagian rim yang menjaga kedua bagian ujung *tyre*.
- Bead seat angle* adalah bagian rim yang mendukung bagian *bead* dari *tyre*.
- Hump* adalah bagian rim berfungsi sebagai pengaman agar *bead tyre* tidak bergeser pada saat sedang melaju.
- Well* adalah bagian dari rim yang membantu untuk membuka dan memasang *tyre*



Gambar 2.5. Penampang Melintang dari *Single-Piece* Rim
(Mohan dkk.,2013)

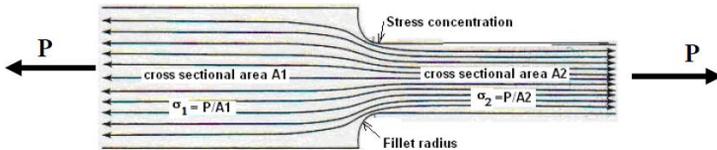


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.4. Pengaruh Desain Terhadap Konsentrasi Tegangan

Distribusi tegangan melalui elemen mekanik ketika diberikan beban *axial*, torsi, ataupun momen bending akan berubah drastis ketika adanya diskontinuitas dari geometri dalam desain *part*, yang dikarenakan karena *microscopic irregularity* dari proses manufaktur ataupun kecacatan (Santos.A dkk., 2014)

Faktor konsentrasi tegangan didefinisikan untuk mengukur nilai *irregularity* dari geometri yang menyebabkan peningkatan tegangan maksimum yang terjadi di daerah diskontinuitas. Faktor konsentrasi tegangan yang biasa ditemui adalah kehadiran *fillet* pada material berbentuk bar.



Gambar 2.6. Bar yang Memiliki Bagian *Fillet* yang Diberikan Gaya Pada Kedua Ujung Sisi (Santos dkk., 2014)

Nilai dari konsentrasi tegangan pada pembebanan statis dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan nilai tegangan aktual pada diskontinuitas dengan nilai tegangan rata-rata.

$$K_c = \frac{\text{Tegangan Aktual Maksimum}}{\text{Rata-rata Tegangan}} \quad (2.17)$$

Nilai tegangan rata-rata pada pembebanan axial dapat didapatkan dengan rumus (2.18)

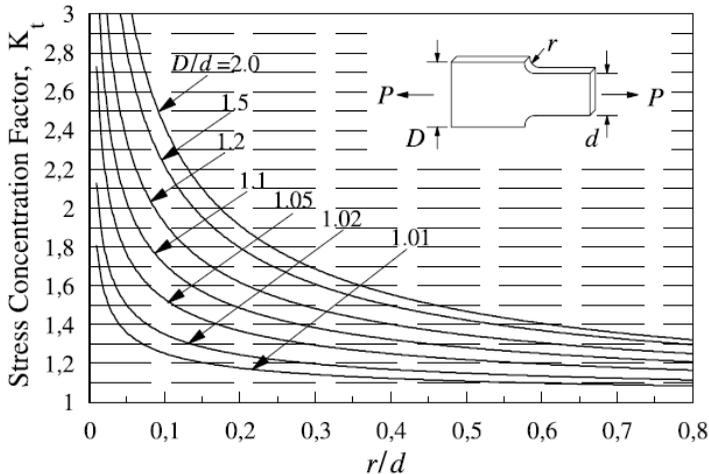
$$\tau_{\text{average}} = \frac{\text{Beban Aksial}}{\text{Luas Area Cross-sectional}} \quad (2.18)$$

Pada bagian *raw material* untuk membuat rim, banyak memiliki bagian geometri yang memiliki *fillet*, hal tersebut menyebabkan terjadinya tersebar nya konsentrasi tegangan di setiap bagian *fillet*. *Fillet* biasanya digunakan pada bagian elemen mesin untuk memberikan transisi yang halus dimana perubahan mendadak



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

geometri sebesar 90° pada daerah persimpangan. Pengaruh *fillet* terhadap faktor konsentrasi tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Grafik Hubungan Antara Faktor Konsentrasi Tegangan Terhadap Ukuran Dimensi dari Fillet (Fo Sonmet, 2008)

Pada Gambar 2.7. apabila rasio nilai D/d bertambah, atau radius perubahan geometri fillet lebih kecil akan menimbulkan semakin besarnya konsentrasi tegangan. Dalam kebanyakan kasus, memilih untuk meningkatkan radius perubahan geometri fillet mungkin tidak dikehendaki dikarenakan pembatasan ruang desain atau bersampingan dengan elemen mesin lainnya. Terkadang keterbatasan ini dapat menyebabkan berkurangnya fatigue strength dari material dikarenakan adanya perubahan geometri yang berlebih (Fo Sonmet, 2008).



2.5. Tegangan Sisa Pada Proses Pembentukan Metal

Seluruh produk logam, terkecuali komponen hasil *casting*, telah mengalami minimal satu kali pada proses operasi pembentukan logam. Proses-proses operasi biasa dilakukan untuk mendapatkan perubahan bentuk yang diinginkan, dalam proses manufaktur dari sebuah komponen mesin umumnya melalui proses pembentukan metal yang berbeda-beda untuk menghasilkan bentuk akhir yang berguna. Proses pembentukan logam dapat dibagi secara besar menjadi proses *cold forming* dan *hot forming*, Cold forming didefinisikan sebagai proses pembentukan atau deformasi plastis dibawah temperatur rekristalisasi dari material tersebut. *Cold forming* yang paling banyak digunakan adalah *drawing, extrusion, rolling, dan forging*

Cold forming secara umum memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan proses keteknikan lainnya. Proses deformasi didalam *cold forming* dilakukan pada keadaan volume yang konstan dengan tidak adanya proses kehilangan material akibat adanya *chips* Dalam kasus *cold forming* perpindahan struktur akibat deformasi lebih baik tercapai daripada beberapa proses lainnya yang akan menaikkan tingkat kekuatan mekankik dan kekuatan *fatigue*.

Dibalik keuntungan dari *cold forming* , ada beberapa hal yang menjadi catatan dalam proses pembentukan logam, yaitu tegangan sisa. Material logam yang mengalami deformasi secara plastis dapat terbentuk tegangan internal karena perbedaan level regangan yang dialami oleh benda kerja pada berbagai lokasi saat waktu yang sama. Perbedaan level regangan diberbagai lokasi di material dapat disebabkan (1) perbedaan kekuatan dikarenakan adanya fasa yang berdampingan di material (2) perbedaan nilai regangan yang terakomodasi diberbagai lokasi diakibatkan bentuk *mold* atau konstrain dari gaya cengkraman pada benda kerja (3) adanya perbedaan temperatur di berbagai lokasi pada benda kerja.

Tegangan sisa dapat menyebabkan mengurangi nilai elastis dari material yang dapat menyebabkan kelentingan pada proses *machining* selanjutnya. Ketika sebuah produk memiliki



nilai tegangan sisa yang besar dan diberikan beban luar, beban luar tersebut akan ditransmisikan kepada tegangan sisa yang ada di permukaan maupun sedikit di bawah permukaan. Sehingga nilai tegangan asli di permukaan akan lebih besar dan akan menyebabkan berkurangnya *fatigue life* dari sebuah produk.

Dalam prakteknya tegangan sisa dapat dikurangi dengan memberikan perlakuan panas, seperti *annealing* atau *stress relieving*, namun proses tersebut memakan waktu dan biaya, sehingga memberikan efek negatif pada proses produksi. Secara umum terdapat dua pendekatan untuk melihat tegangan sisa, yaitu dengan proses eksperimental dan proses simulasi. Proses eksperimental seperti *hole-drilling*, *x-ray*, dan *neutron diffraction* dapat memberikan hasil yang langsung dan dapat dipercaya, namun proses *hole-drilling* adalah proses merusak, sedangkan dua sisanya merupakan proses yang memakan waktu. Pada akhir-akhir ini metode elemen hingga atau FEM telah memberikan perhatian dan juga telah terbukti sebagai alat bantu yang baik untuk menganalisa tegangan sisa pada proses pembentukan (G,totten dkk., 2002).

2.6. Tegangan dan Regangan

Tegangan biasanya didapatkan dari hasil uji tarik atau uji kompresi. Simple stress didefinisikan sebagai beban statis dan besarnya berubah secara lambat relatif terhadap waktu serta bekerja terhadap luas permukaan suatu material. Uji tarik biasanya diukur dalam kurva beban melawan pertambahan panjang, deformasi pada penambahan beban biasanya tergantung terhadap luas permukaan material, oleh karena itu *engineering stress* digunakan dengan mengabaikan perubahan luas permukaan selama uji penarikan (calister,2007).

$$\sigma = F/A_0 \quad (2.19)$$

Sedangkan *engineering strain* didefinisikan sebagai selisih panjang material insidental, yaitu panjang material yang berubah-ubah tergantung kondisi tegangan yang diberikan, dengan panjang akhir dan dibagi dengan panjang awal.

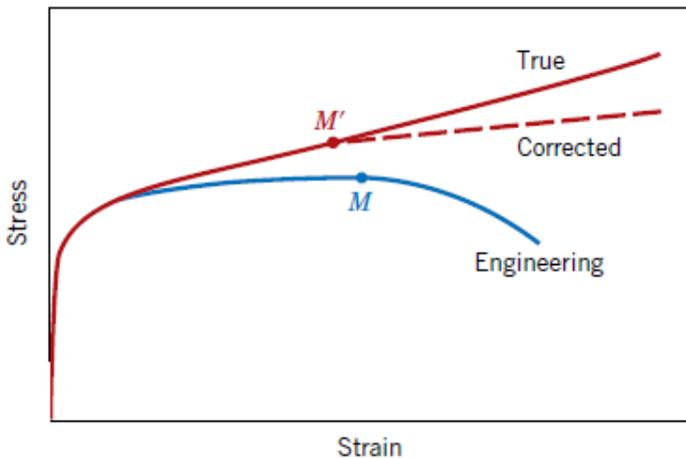


$$\epsilon = l_i - \frac{l_o}{l_o} \quad (2.20)$$

Terkadang *true stress* dan *true strain* juga di perlukan didalan dunia *engineering* , nilai true stress dan true strain didefinisikan sebagai fungsi dibawah ini.

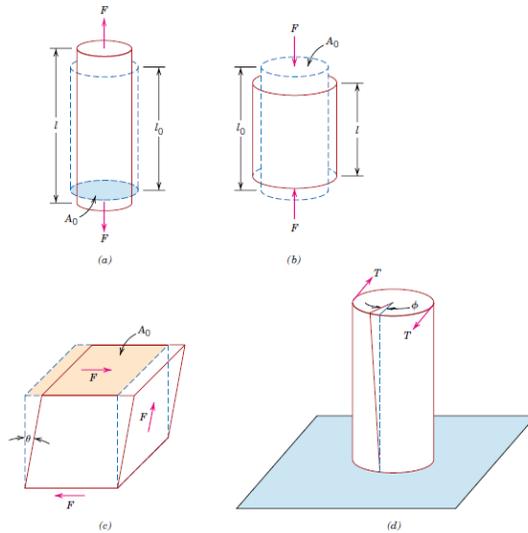
$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon) \quad (2.21)$$

$$\epsilon_T = \ln (1+ \epsilon) \quad (2.22)$$



Gambar 2.8. Kurva Engineering Vs Kurva Sebenarnya (calister, 2007)

Jenis *test* yang menggunakan gaya geser akan menghasikan tegangan geser, sedangkan torsi terjadi apabila tegangan geser memberikan rotasi terhadap material uji. Pada Gambar 2.8 terlihat beberapa jenis tes yang menghasilkan beberapa jenis tegangan.



Gambar 2.9. (a) Tegangan Tarik (b) Tegangan Kompresi (c) Tegangan geser (d) Torsi
(Calister, 2007)

Material logam yang mengalami pembebanan dan mengalami regangan yang kecil, biasanya nilai tegangannya proporsional terhadap regangannya, hal ini disebut dengan hukum Hook pada daerah material elastis, hukum Hook dinyatakan sebagai modulus elastisitas

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.23)$$

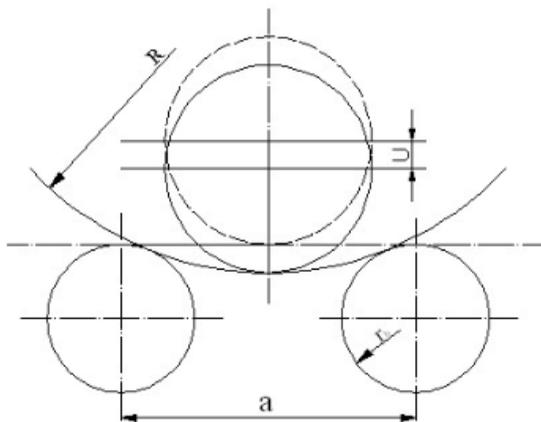
2.7. Proses Roll-Bending

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 dkk., 2011).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Proses tiga *roll bender* yang terdiri dari *roll* atas dan dua *roll* bawah dilakukan dengan memberikan plate yang diumpankan ke bagian *roll* bawah 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 dipasang. *Plate* dapat membentuk *full cylinder* di akhir proses. Proses pembentukan *plate* silinder dapat dilihat pada Gambar 2.10. dimana a adalah jarak antar *roll* bawah, R adalah radius *plate* yang diinginkan, r_a dan r_b adalah radius dari *roll* bawah.



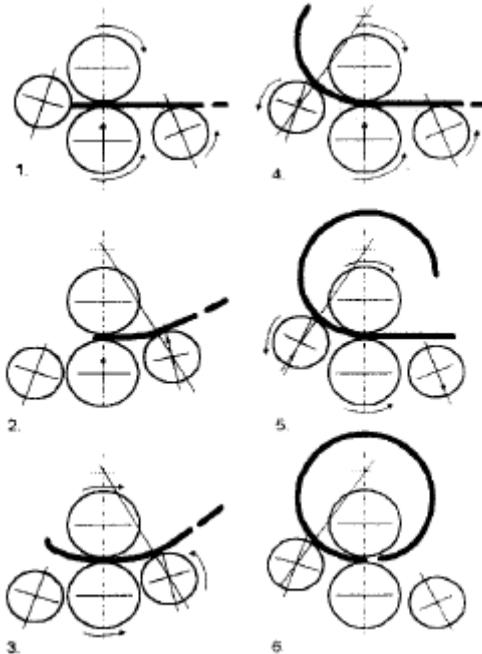
Gambar 2.10. Ilustrasi Proses Tiga *Roll Bender*
(J.Haou dkk., 2011)

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 dkk.,1994).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Proses pengerolan *plate* terdiri dari beberapa tahap :(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 bergabungnya *roll* belakang (v)(vi) proses *continuous rolling* untuk memenuhi bentuk silinder



Gambar 2.11. Tahap *Rolling Plate* dengan Menggunakan Empat Roller Bender

(M. Hua dkk., 1994).

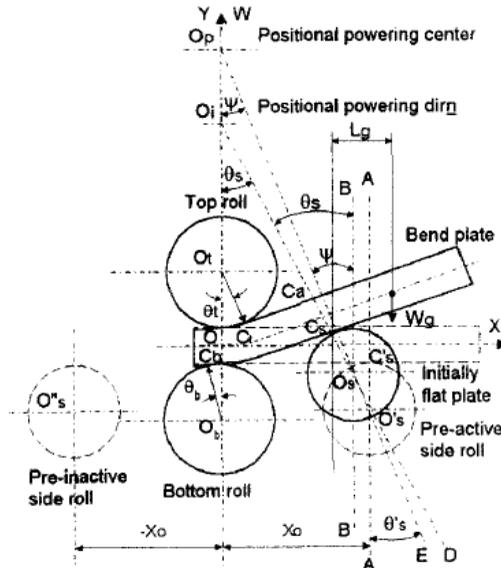
2.8. Deformasi Pada Proses Empat *Roll-Bending*

(M,Hua dkk., 1994) melakukan analisa tentang deformasi yang terjadi pada proses pengerolan empat *roll* bending dengan membagi tiga tahap pengerolan, yaitu deformasi pada saat pre-bending dengan pengoperasian *roll pre-active/ roll* depan, kedua adalah deformasi pada saat *roll pre-active/ roll* depan berjalan



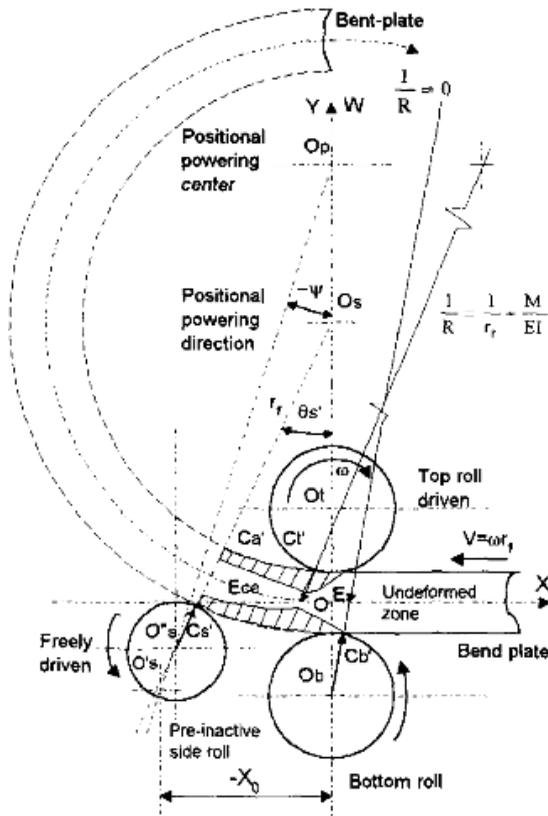
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

secara *continuous*, dan yang ketiga adalah deformasi ketika *pre-inactive/roll* belakang berjalan secara *continuous*.



Gambar 2.12. Proses *Pre-Bending* oleh Roll Depan
(M, Hua dkk., 1994)

Pada proses *pre-bending* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12, *pre-active/roll* depan akan menyesuaikan sudut *roll* dan akan memberikan initial bending terhadap *plate*. Pada saat proses *continuous bending* dilakukan *plate* akan dijepit oleh *roll* atas dan *roll* bawah dan diberikan bending oleh *roll* depan. Kondisi ini akan memberikan kondisi deformasi plastis diantara area kontak *plate* dengan *roll* bawah dan *roll* atas dan area elastis di daerah *roll* depan.

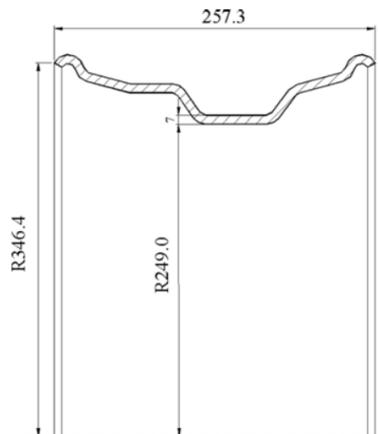


Gambar 2.14. Proses Roll Belakang Berjalan Secara *Continuous*, Terdapat Efek *Spring-Back* Ketika Memasuki Roll Belakang, Hal ini Disebabkan Oleh Daerah Material yang Mengalami Deformasi *elastoplastic*. (M, Hua dkk., 1994)



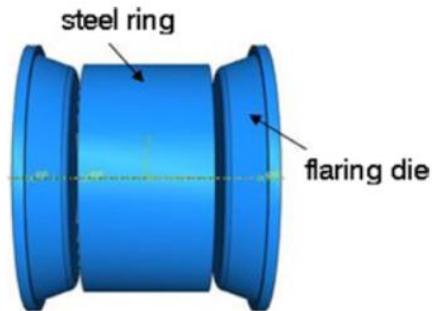
2.9. Penelitian Sebelumnya

(Gang Fang dkk., 2015) melakukan penelitian berupa proses pembentukan rim *truck* pada *multi-step rolling process* dengan menggunakan metode elemen hingga. Pada penelitian tersebut dilakukan simulasi tiga tahap pengerolan dengan menggunakan program *ABAQUS* yang dilakukan pada proses pembuatan *wheel rim* dan verifikasi bentuk akhir dengan hasil eksperimen didapatkan hasil simulasi pada tahap pengerolan mendekati bentuk asli dengan nilai error 0,2-4,6 %. Pada penelitian tersebut *wheel rim* yang digunakan berjenis *single piece wheel rim* yang terdiri hanya satu bagian rim tanpa ada sambungan lainnya.



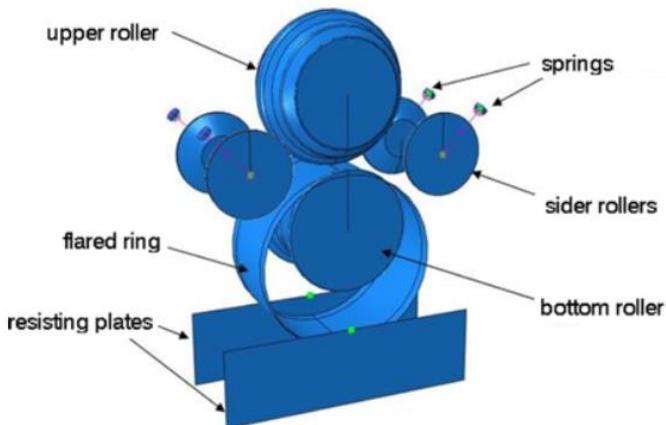
Gambar 2.15. Potongan Melintang dan Dimensi *Single-Piece Wheel Rim* (Gang Fang dkk., 2015)

Proses pengerolan tersebut pertama-kali dilakukan dengan melakukan *flaring* pada ujung permukaan *ring* sehingga pada ujung *ring* memiliki daerah yang lebih lebar.



Gambar 2.16. Model dari Rim yang Sudah di *Flaring*
(Gang Fang dkk., 2015)

Setelah melewati proses *flaring*, dilakukan proses pengerolan bertahap dengan tujuan untuk memberikan profil pada *single-piece wheel rim*.

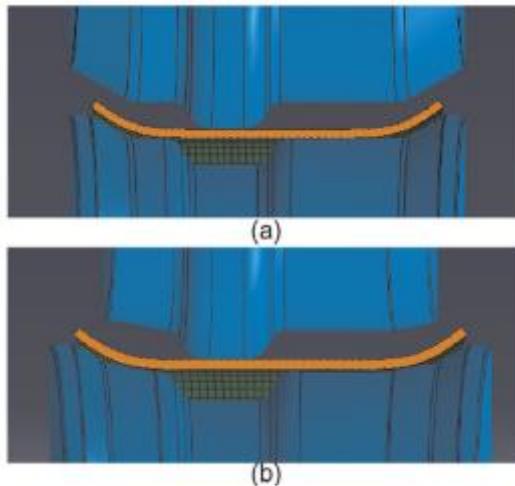


Gambar 2.17. Model dari Salah Satu Proses Pengerolan *Multi-Step* (Gang Fang dkk., 2015)



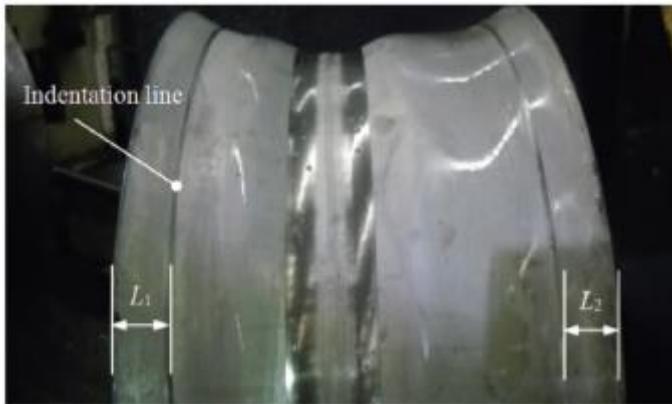
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

(Pin Lu dkk., 2015) melakukan penelitian proses *multi-step rolling* yang dikhususkan untuk pembentukan rim *passanger car*, dalam penelitian tersebut dilakukan simulasi proses flaring dan tiga tahap proses pengerolan untuk membentuk *wheel rim*. Pada penelitian tersebut dilakukan evaluasi terhadap *die mold* untuk mengurangi terjadinya *defect* pada rim.



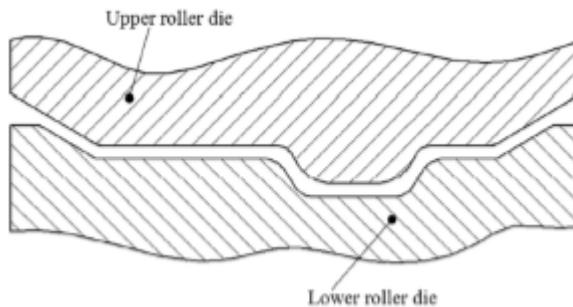
Gambar 2.18. Simulasi Model Modifikasi Desain *Mold* untuk Mengurangi *Defect* (a) Sebelum Modifikasi (b) Setelah Modifikasi (Pin Lu dkk., 2015)

(Pin Lu dkk., 2015) pada penelitian tersebut berusaha mengurangi *defect* dengan cara memodifikasi *mold* untuk menghasilkan daerah *flange* pada kedua ujung rim agar memiliki dimensi yang sama, apabila dimensi berbeda akan mengurangi kekuatan pada salah satu ujung *flange* sehingga ada kemungkinan terjadinya kebocoran gas apabila *tyre* sudah dipasang pada rim.



Gambar 2.18. Perbedaan Dimensi *Flange* Pada Proses Pengerolan Pertama (Pin Lu dkk., 2015)

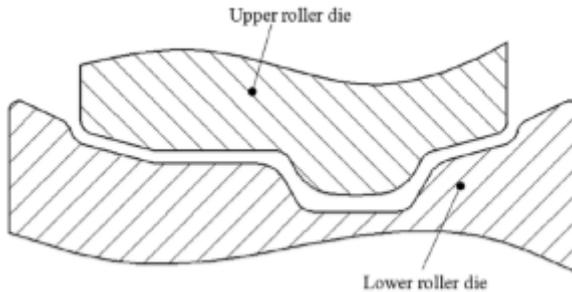
Pada penelitian tersebut model geometri dari *mold* dirubah sehingga menjadi lebih presisi pada bagian *flange* .



Gambar 2.19. Desain Asli *Mold* (Pin Lu dkk., 2015)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA



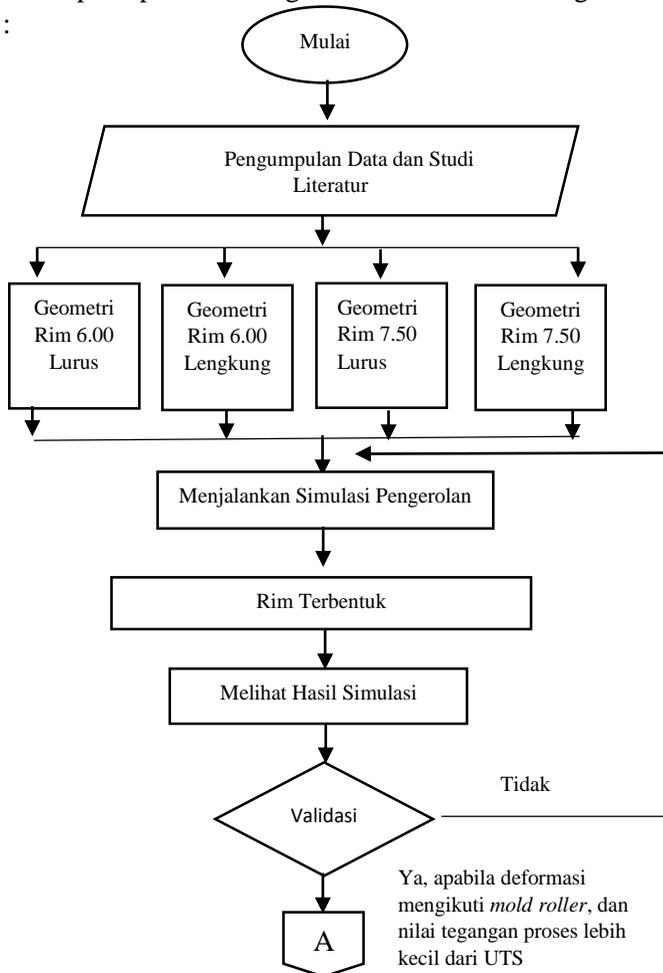
Gambar 2.20. Modifikasi *Mold*, Atas ; Desain Asli, Bawah ;
Desain Modifikasi (Pin Lu dkk., 2015)

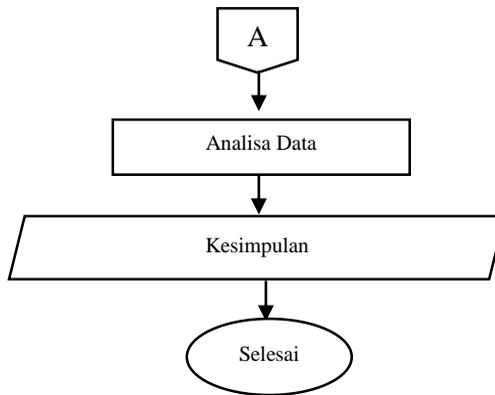
Dalam penelitian sebelumnya sudah dilakukan analisis proses pembentukan dan evaluasi design *mold* dengan menggunakan metode elemen hingga pada *multi-step rolling* untuk memproduksi *single-piece rim* yang lebih sering ditemui pada aplikasi *tube-less passenger car*, namun untuk penelitian proses produksi *multi-piece rim* yang sering dijumpai pada alat-alat berat, seperti truck dan bus masih sangat jarang dijumpai, oleh karena itu pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan analisis terhadap proses rolling rim berjenis *multi-piece*, dengan fokus untuk menganalisa desain *profil raw material* dan efek setelah pengerolan terhadap persebaran tegangan.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Diagram Alir pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

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. Sifat dan komposisi baja SS400 dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2.

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.

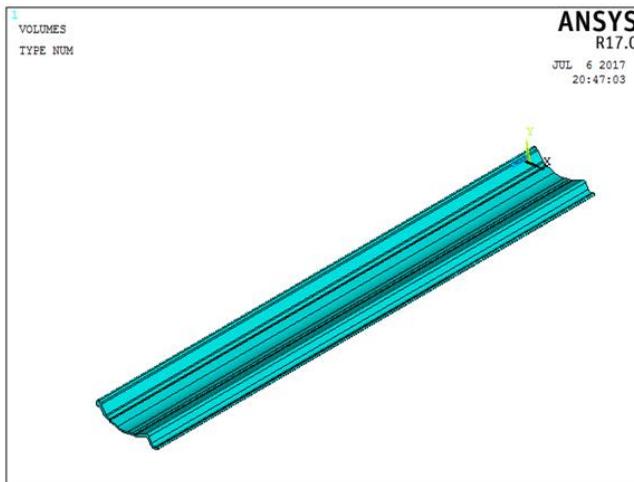


3.2.2.1. Geometri Raw Material

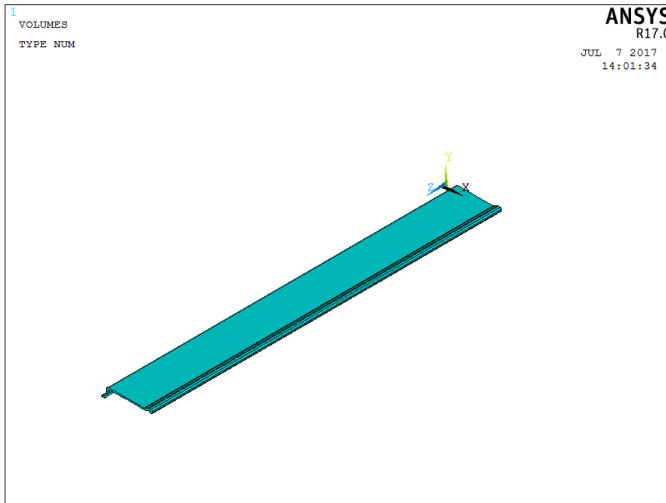
Geometri *raw material* yang digunakan berjenis pelat yang memiliki profil bergelombang, raw material ini digunakan dalam proses pembentukan *base rim*.

Tabel 3.1. Jenis Geometri Rim

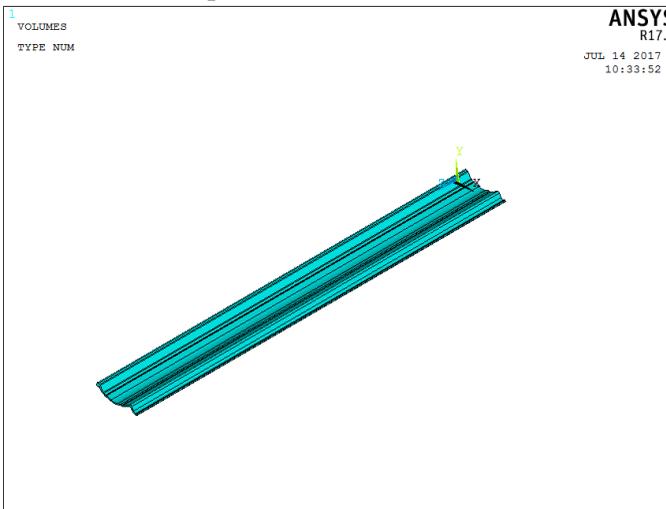
No	Jenis Rim	Panjang (m)	Geometri
1	Rim 6.00	1.275	Lengkung
2	Rim 6.00	1.275	Lurus
3	Rim 7.50	1.623	Lurus
4	Rim 7.50	1.623	Lengkung



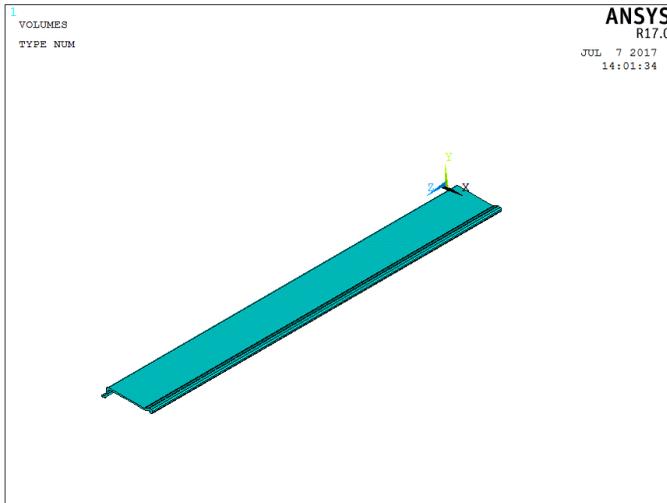
Gambar 3.2. Tampak Penuh dari *Raw Material* 6.00 Lengkung



Gambar 3.3. Tampak Penuh dari *Raw Material* 6.00 Lurus



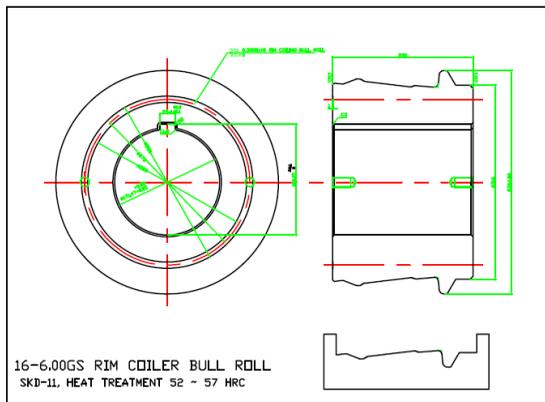
Gambar 3.4. Tampak Penuh *Raw Material* 7.50 lengkung



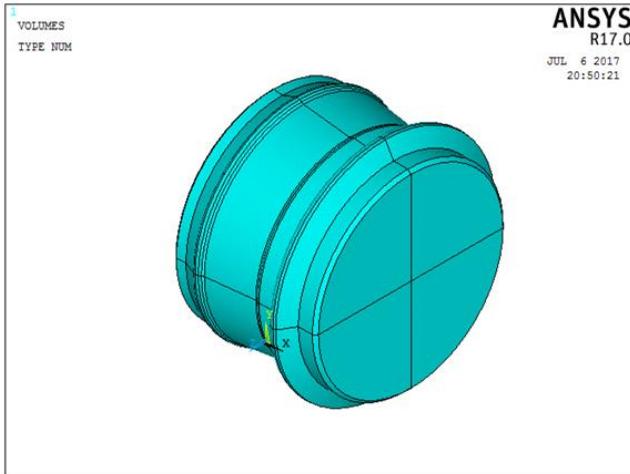
Gambar 3.5. Tampak Penuh *Raw Material* 7.50 lurus

3.2.2.2. Geometri *Roll*

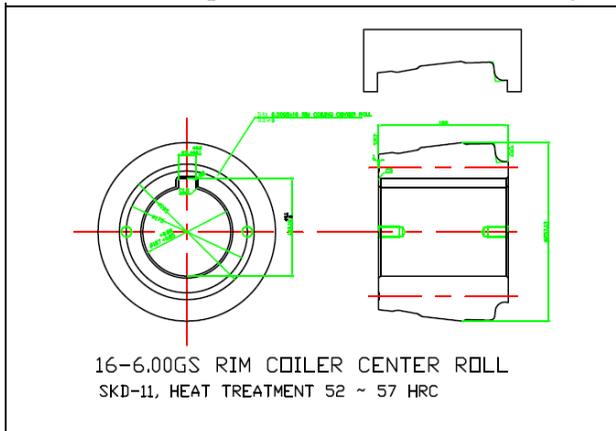
Roll yang digunakan pada penelitian ini menggunakan empat jenis *roll* yaitu roller depan, roller belakang, *roll* bawah, dan *roll* atas.



Gambar 3.6. Tampak *Roll Atas Mold Rim* Lengkung



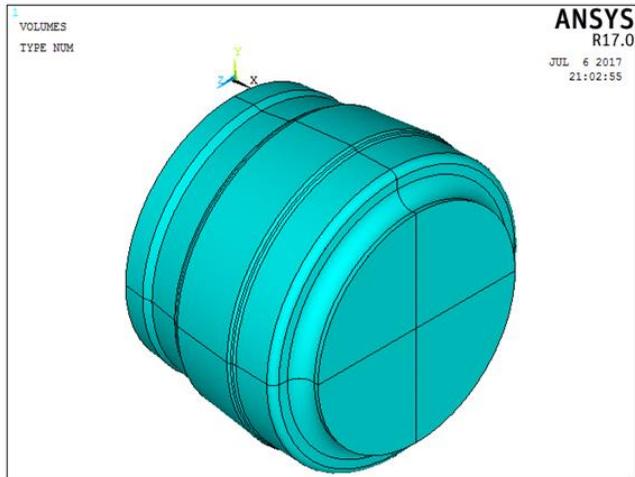
Gambar 3.7. Tampak Penuh *Roll* Atas Rim Lengkung



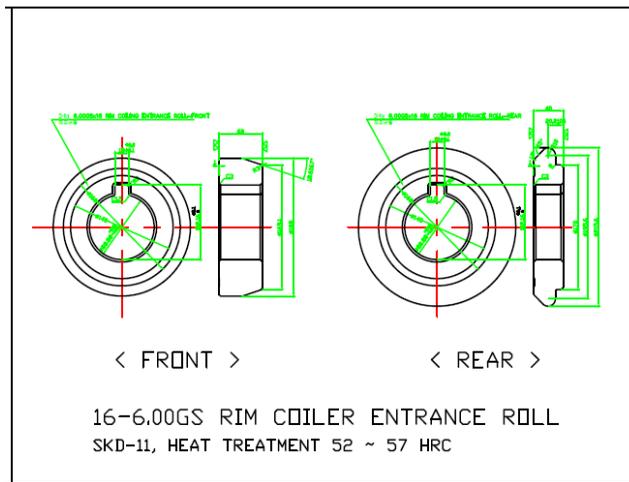
Gambar 3.8. Tampak *Roll* Bawah Rim Lengkung



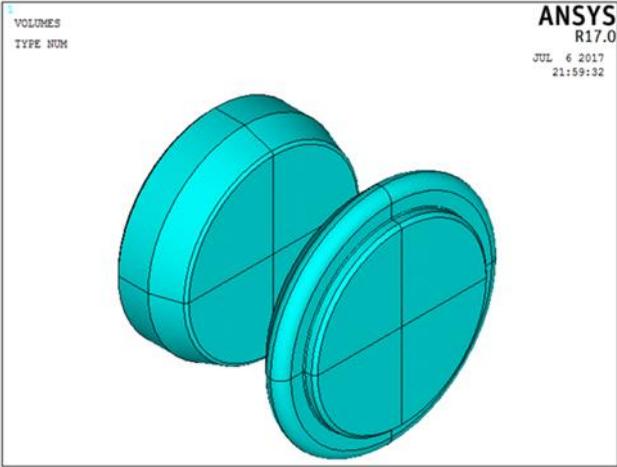
BAB III METODOLOGI



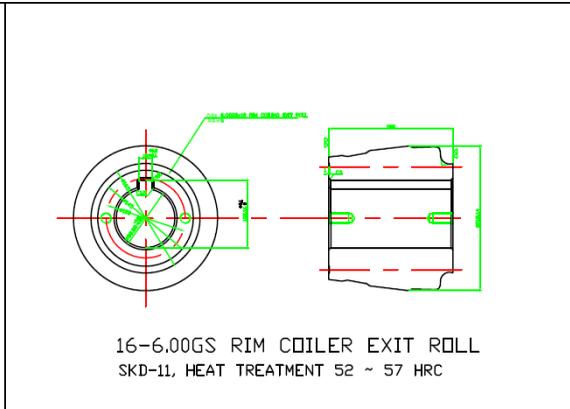
Gambar 3.9. Tampak Penuh *Roll* Bawah Rim Lengkung



Gambar 3.10. Tampak Roll Depan Rim Lengkung



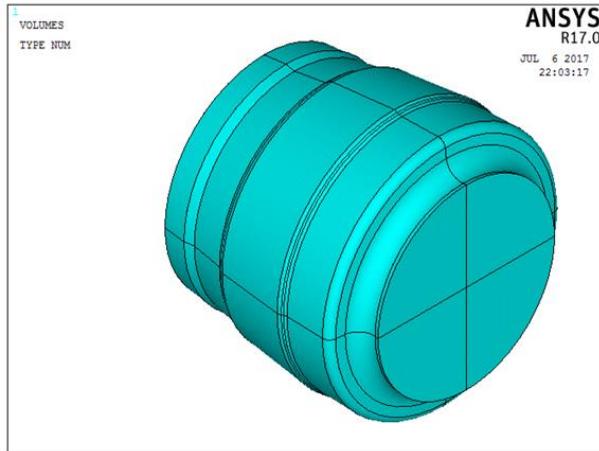
Gambar 3.11. Tampak Roll Depan Rim Lengkung



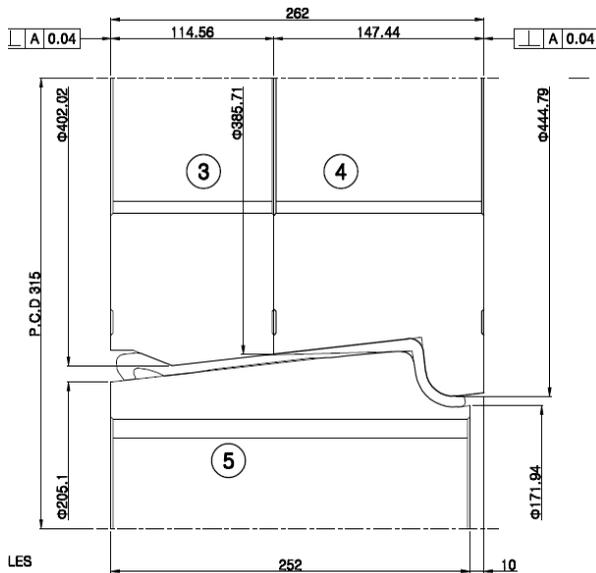
Gambar 3.12. Tampak Roll Belakang Rim Lurus



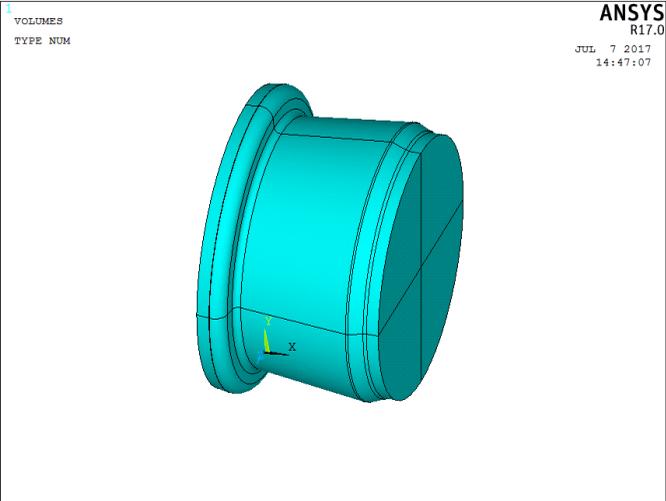
BAB III METODOLOGI



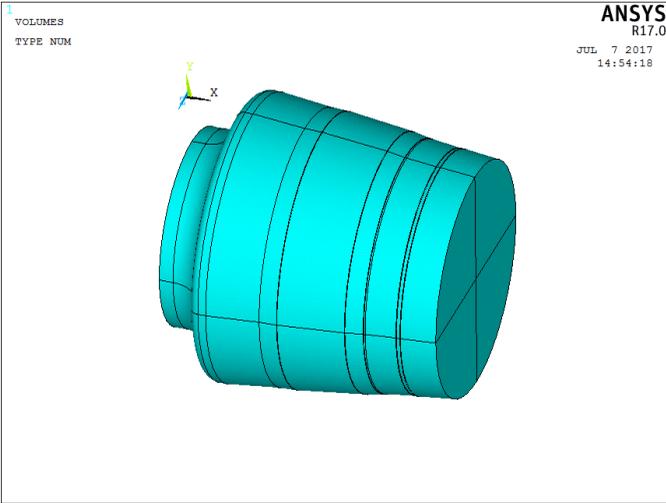
Gambar 3.13. Tampak Penuh *Roll* Belakang Rim Lurus



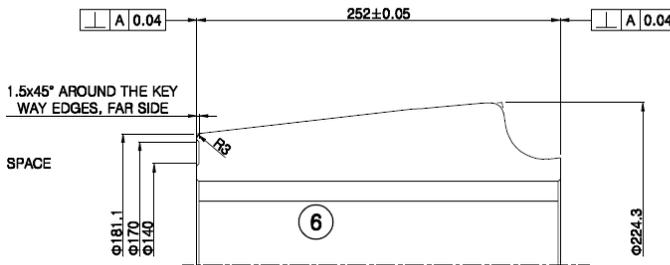
Gambar 3.14. *Roll* Atas dan Bawah Rim Lengkung



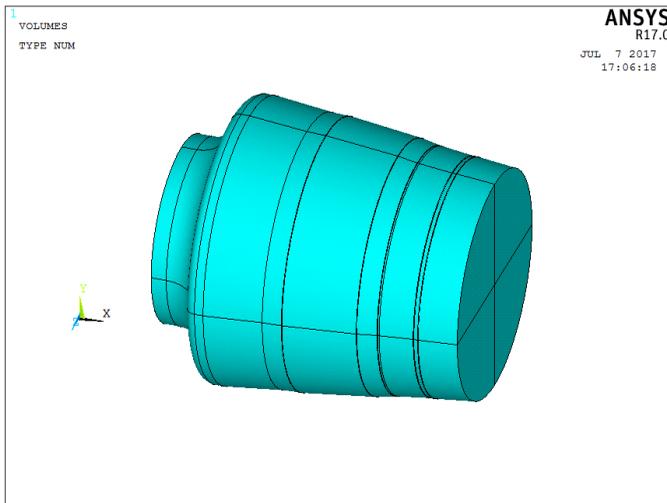
Gambar 3.15. Tampak Penuh *Roll* Atas Rim Lurus



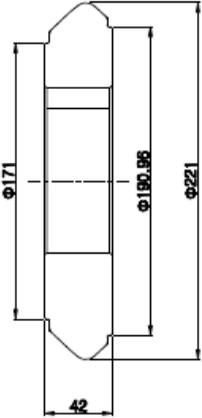
Gambae 3.16. Tampak Penuh *Roll* Bawah Rim Lurus



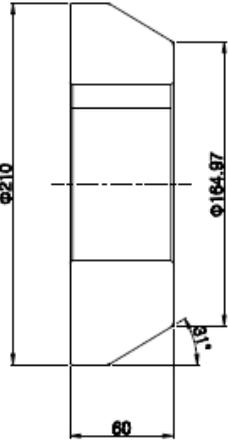
Gambar 3.17. Roll Belakang Rim Lurus



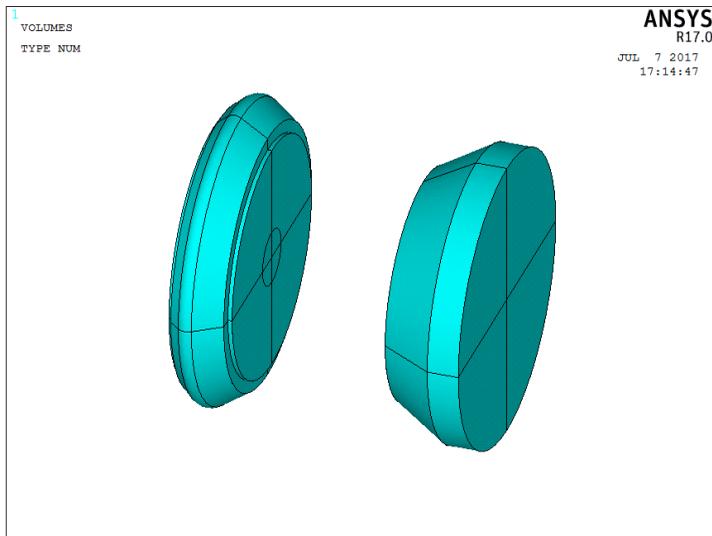
Gambar 3.18. Tampak Penuh Roll Belakang Rim Lurus



Gambar 3.19. Roll Depan Bagian Kiri Rim Lurus



Gambar 3.20. Roll Depan Bagian Kanan Rim Lurus



Gambar 3.21. Tampak Penur *Roll* Depan Rim Lurus

3.3. Peralatan Penelitian

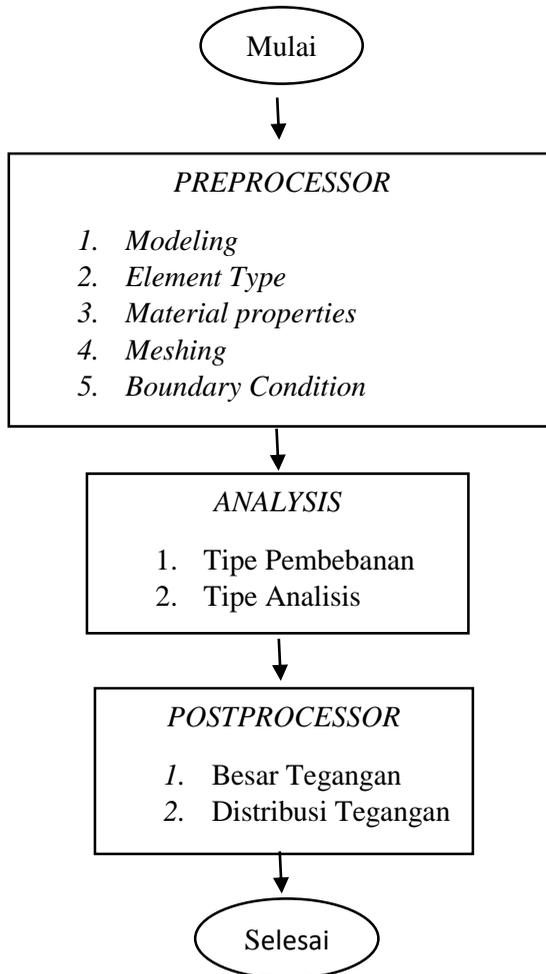
Peralatan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. AutoCAD 2017 merupakan *software* yang digunakan sebagai pedoman desain 2D raw material dan roller.
2. ANSYS 17.0 Mechanical *APDL* merupakan *software* yang digunakan sebagai alat untuk memodelkan simulasi pengerolan dengan asas FEM



3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan pada tugas akhir ini adalah permodelan dengan menggunakan *software* ANSYS yang tercantum pada Gambar 3.13. sebahai berikut :

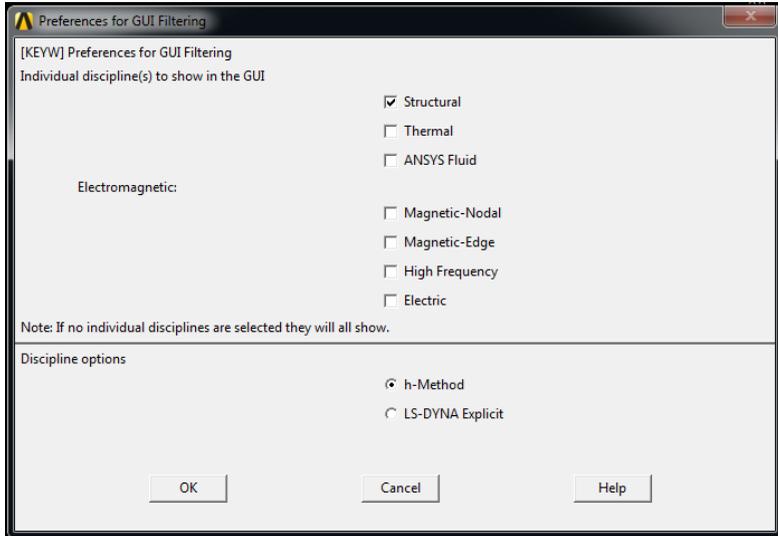


Gambar 3.22. Diagram Alir Permodelan



3.4.1. Pemodelan Proses Pengerolan

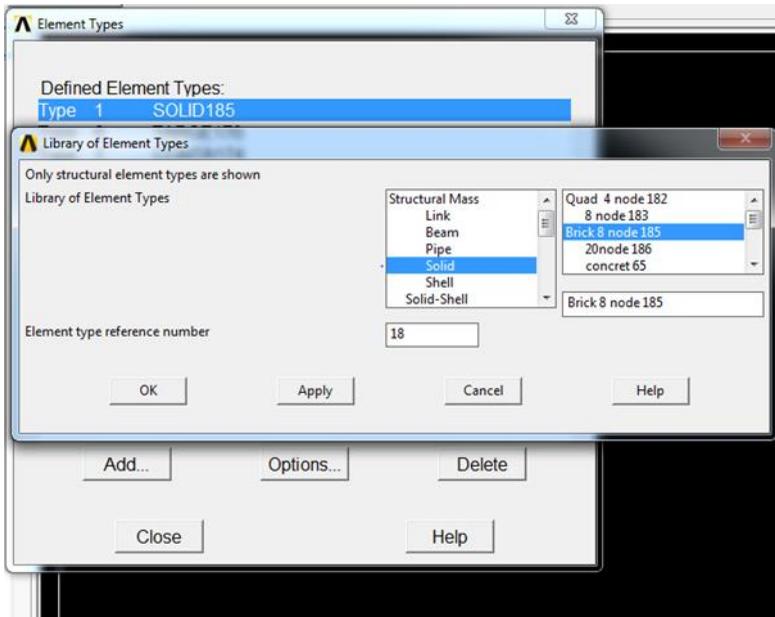
Dalam melakukan pemodelan pengerolan rim velg *truck*, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan *preferences*, dengan memilih pilihan *structural*, karena pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis perbandingan tegangan pengerolan antara rim 6.00 dengan rim 7.50



Gambar 3.23. *Preferences*

3.4.2. Penentuan Tipe Elemen

Elemen yang digunakan untuk model ini adalah SOLID185, elemen ini cocok untuk model 3D dan mampu melakukan translasi dengan memiliki 8 node dan tiga derajat kebebasan pada sumbu x, y, z , Elemen SOLID185 juga memiliki sifat elastisitas, plastisitas, *creep*, kemampuan regangan dan defleksi yang tinggi.



Gambar 3.24. Penentuan Tipe Elemen

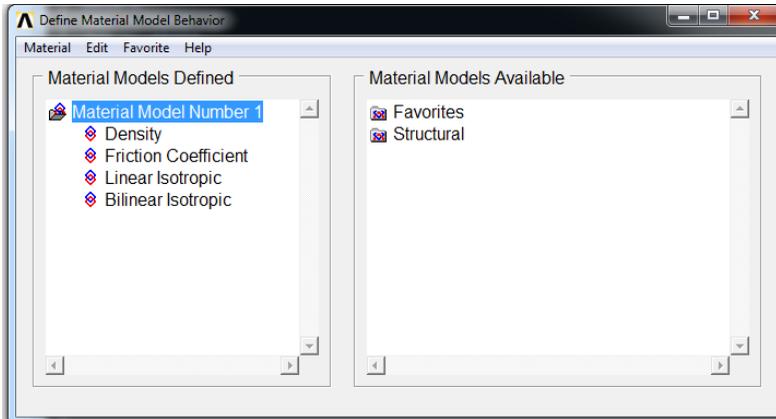
Elemen selanjutnya adalah elemen TARGE 170 dan CONTA 174, Elemen ini digunakan untuk mendefinisikan *contact pair* antara roller dengan *raw material*. Dimana roller akan menjadi *rigid body*, sedangkan *raw material* akan menjadi *deformable body*. Jenis *contact pair* yang digunakan adalah *surface to surface* atau kontak antara permukaan roll dan permukaan *roll*.

3.4.3. Penentuan Sifat Material

Pada penelitian ini data sifat yang diperlukan adalah densitas material, koefisien gaya gesek, data sifat elastis berupa sifat *linear elastic*, dan data sifat plastis atau pengerasan *bilinear isotropic*.



BAB III METODOLOGI



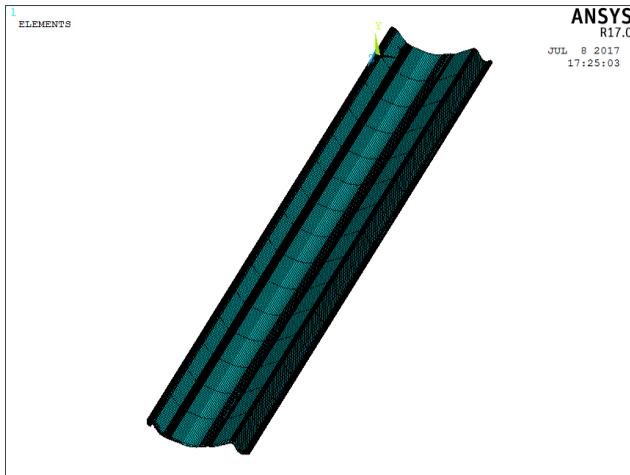
Gambar. 2.25. Penentuan Material Properties

3.4.4. Meshing

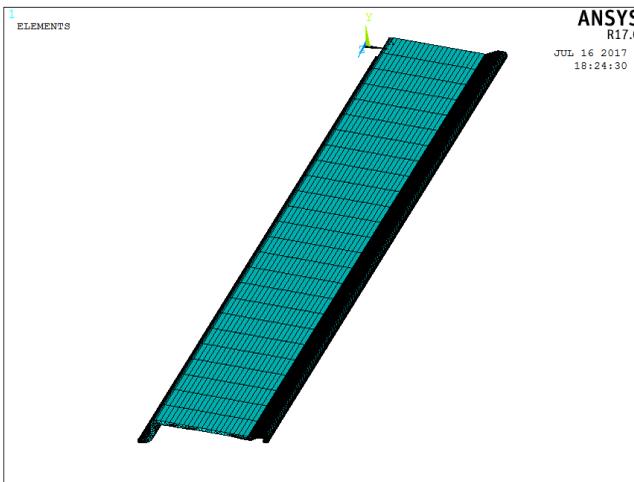
Meshing adalah proses membagi benda menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. *Meshing* dilakukan pada volume *raw material* dengan pilihan *VSweep*.

Tabel 3.2. Jumlah Elemen

No	Material	Jumlah Elemen
1	Rim 6.00 Lurus	57200
2	Rim 6.00 Lengkung	45379
3	Rim 7.50 Lurus	62760
4	Rim 7.50 Lengkung	71929



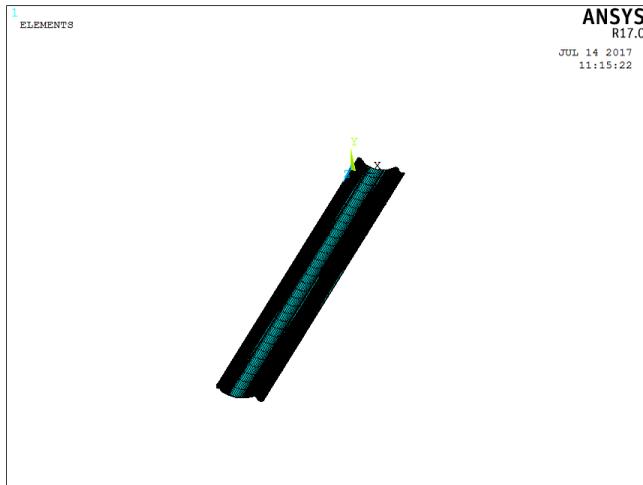
Gambar 3.26. Hasil *Meshing* Material 6.00 lengkung



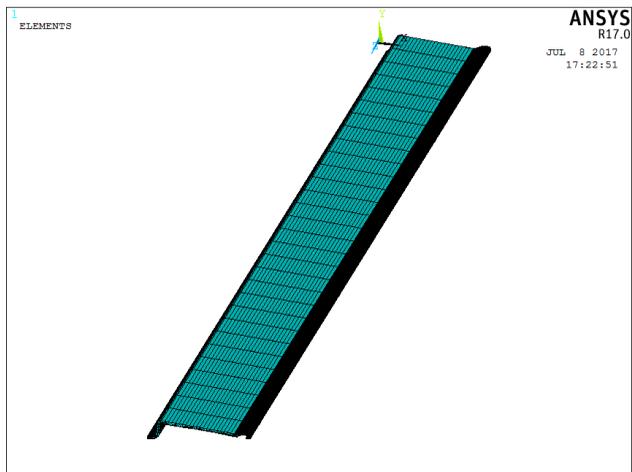
Gambar 3.27. Hasil *Meshing* Material 6.00 lurus



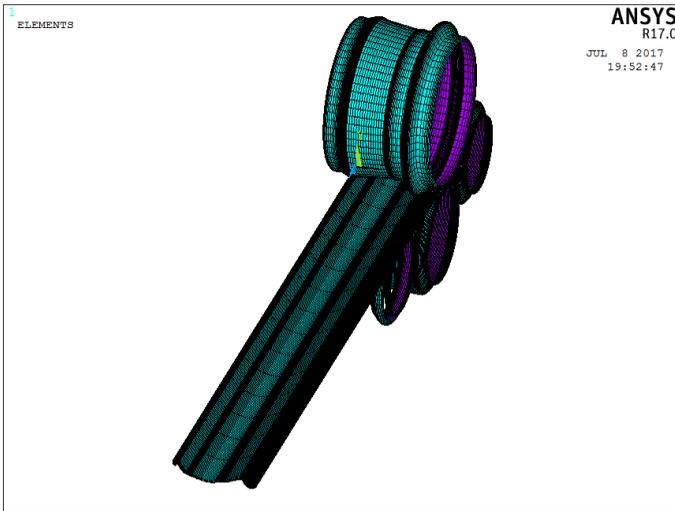
BAB III METODOLOGI



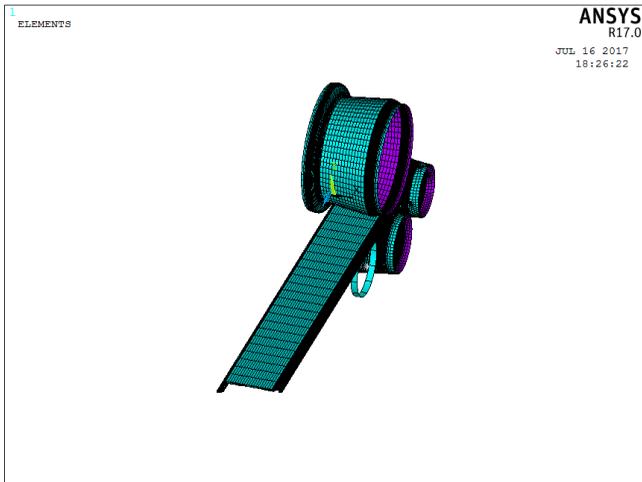
Gambar 3.28. Hasil *Meshing* Material 7.50 Lengkung



Gambar 3.29. Hasil *Meshing* Material 7.50 Lurus



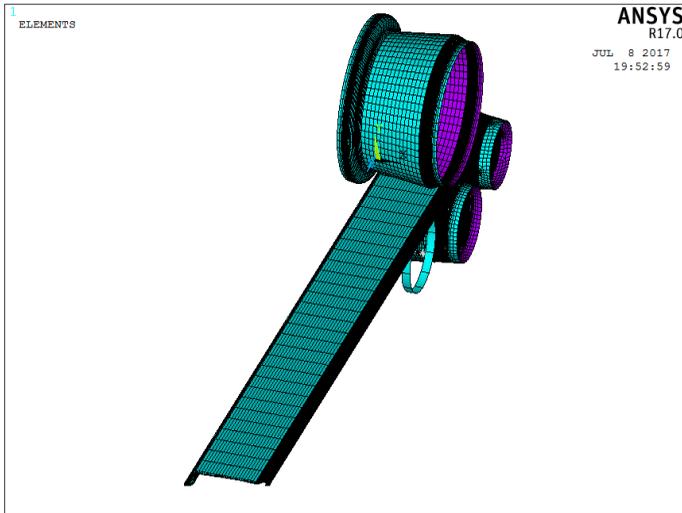
Gambar 3.30. Hasil *Meshing* Material 6.00 Lengkung Beserta *Roll*



Gambar 3.31. Hasil *Meshing* Material 6.00 Lengkung Beserta *Roll*



BAB III METODOLOGI



Gambar 3.32. Hasil *Meshing* Material 7.50 Beserta *Roll*



Gambar 3.33. Hasil *Meshing* Material 7.50 Lengkung Beserta *Roll*



BAB III METODOLOGI

3.4.5. Boundary Condition

Untuk menjalankan simulasi pengerolan ini ada beberapa boundary condition yang digunakan dengan tujuan agar pengerolan dapat dilakukan

- a. *Constrain* material, baik material 6.00 material 7.50, dan 7.50 lengkung ketiganya diberikan *constrain* pada kedua sisi area samping material terhadap sumbu X, agar material tidak bergerak ke arah sumbu X ketika dijalankan simulasi
- b. *Constrain* pada *roller*, pemberian *constrain* terhadap *roller* terhadap sumbu Y dan Sumbu Z, dimaksudkan agar *roller* tidak ikut bergerak ketika diberikan *pressing* pada awal proses pengerolan,

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 *pressing* dan rotasi. Nilai rotasi material rim 7.50 lebih besar dikarenakan panjang material 7.50 lebih panjang daripada material 6.00 sehingga diperlukan nilai rotasi *roller* yang lebih besar. Hal ini berlaku bagi rim berprofil lengkung maupun lurus.

Tabel 3.3. Pembebanan

No	Material	Pembebanan	Nilai
1	6.00	Perpindahan sumbu Y	-5 Cm
2	7.50	Perpindahan sumbu Y	-5 Cm
3	6.00	Rotasi sumbu X	360 ⁰
4	7.50	Rotasi sumbu X	660 ⁰

3.4.7. Tipe Analisis

Tipe analisis dalam tugas akhir ini adalah struktural dengan menggunakan analisis *large displacement static*. Analisis ini digunakan karena proses pengerolan membutuhkan nilai regangan



yang tinggi. Metode ini memiliki kekurangan berupa tidak bisa merepresentasikan tingkat *buckling* pada material.

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 “ Analisis Desain Profil Rim Velg *Truck* Pada Proses Pengerolan dengan Metode Elemen Hingga “ Ada 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.

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



BAB III METODOLOGI

3.5. Langkah Penelitian

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

1. Pengumpulan data dan studi literatur
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 pelat rim 6.00 dan 7.50 desain 2D pada AUTOCAD 2017 dibuat ulang desain 3D pada ANSYS *Mechanical* APDL 17.0
3. Menjalankan simulasi
Simulasi pengerolan dilakukan pada *software* ANSYS *Mechanical* APDL sesuai desain yang ada dan batasan masalah yang digunakan, hingga rim terbentuk
4. Validasi penelitian
Hasil dari proses pengerolan dalam penelitian tugas akhir ini adalah terbentuknya profil material pelat 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. Analisa Data
Setelah hasil divalidasi perbandingan efek desain profil terhadap tegangan pengerolan dapat dilakukan, dari kedua material secara teoritis nilai tegangan rim yang memiliki desain profil lurus harus lebih kecil daripada tegangan rim yang memiliki banyak *fillet* dan lekukan
6. Kesimpulan
Pada akhir penelitian dilakukan penarikan kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian



3.6. Variabel Penelitian

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

1. Variabel terikat berupa : Sifat material berupa densitas, *poison ratio*, sifat elastisitas, koefisien gaya gesek, jarak *pressing*, pemosisian *roller*. dan sifat pengerasan.
2. Variabel bebas berupa : Desain *mold* dan rim, besar radius rotasi, dan panjang material

3.7. Rancangan Penelitian

Pada penelitian tugas akhir dilakukan analisis perbandingan desain profil terhadap persebaran tegangan , nilai tegangan, dan konsentrasi tegangan, untuk dua jenis desain profil yang dimiliki :

1. Material rim 6.00, berprofil lengkung yang memiliki banyak lekukan dan *fillet*. Pada proses tekan rim 6.00 lengkung daerah yang memiliki lekukan akan ditekan untuk meluruskan material sesuai desain *mold roll*.
2. Material rim 6.00 lurus, material ini memiliki desain rim lurus sesuai dengan bentuk *mold* Pada proses tekan rim 6.00 lurus, *mold roll* langsung bersesuaian dengan permukaan material rim 6.00 berprofil lurus
3. .Material rim 7.50, berprofil lengkung yang memiliki banyak lekukan dan *fillet*. Pada proses tekan rim 7.50 lengkung daerah yang memiliki lekukan akan ditekan untuk meluruskan material sesuai desain *mold roll*
4. Material rim 7.50 lurus, material ini memiliki desain rim lurus sesuai dengan bentuk *mold*. Pada proses tekan rim 7.50 lurus, *mold roll* langsung bersesuaian dengan permukaan material rim 6.00 berprofil lurus



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini analisa tegangan hasil pengerolan pada rim akan dibandingkan antara material rim 6.00 dan 7.50 yang memiliki desain yang lengkung dengan rim 6.00 dan 7.50 yang memiliki desain profil lurus.pada awal mula proses pengerolan , kedua jenis profil akan di *press* untuk mengikuti bentuk *mold* dari *roller*. Selain itu proses pengerolan pada rim ini menggunakan *setting roll* depan dan belakang yang sejajar, untuk mengetahui pengaruh *setting roll* depan yang sejajar terhadap bentuk diameter akhir pengerolan. *Setting roll* ini mengakibatkan proses pengerolan menjadi proses tiga *roll-bending*. Hasil model dibandingkan dengan kondisi lapangan yang memiliki *setting flexible exit roller* atau empat *roll-bending*, dimana *roll exit* atau *roll* belakang diatur ketinggiannya untuk mendapatkan diameter rim yang di inginkan. Pada kondisi lapangan untuk mendapatkan diameter yang di inginkan digunakan metode *trial* setiap datangnya *stock* bahan yang baru. Sehingga untuk mempermudah simulasi, midel diasumsikan mengalami proses tiga *roll-bending*. Berikut ini adalah tabel lengkap mengenai perbandingan simulasi rim 6.00 dan 7.50. pada tabel dapat terlihat bahwa kedua jenis rim memiliki kesamaan dalam jarak *pressing* awal sebesar 5 cm.

Tabel 4.1. Pembebanan

No	Material	Profil	Panjang (m)	Rotasi	Jarak <i>Pressing</i>
1	6.00	Lurus	1.275	360°	5cm
2	6.00	Lengkung	1.275	360°	5cm
3	7.50	Lurus	1.623	660°	5cm
4	7.50	Lengkung	1.623	660°	5cm



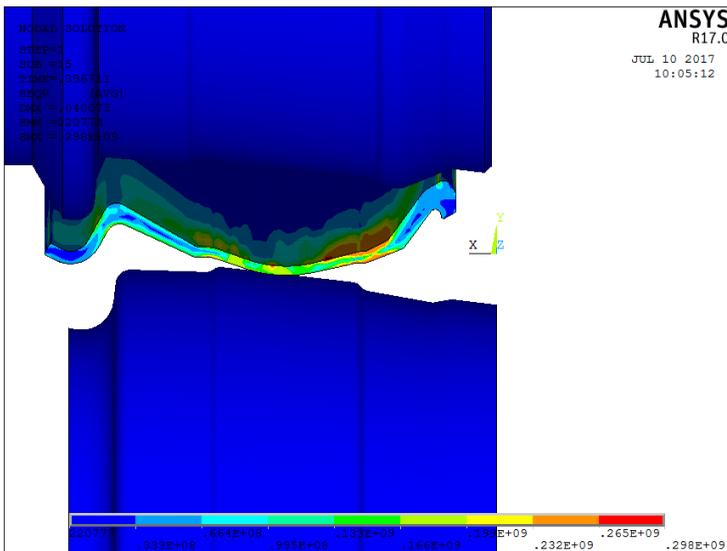
BAB IV ANALISIS DATA

4.1 Proses *Pressing* Material

4.1.1. Material 6.00 lengkung

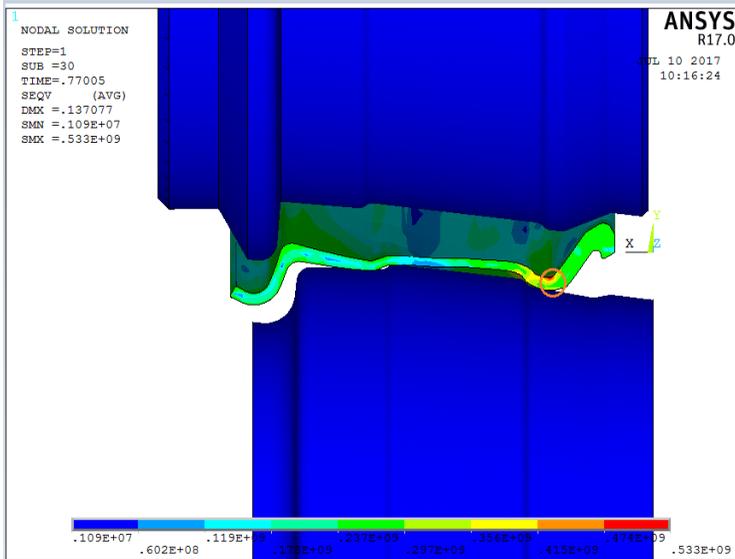
Pada proses pertama dalam proses pengerolan adalah proses *pressing*. Proses ini bertujuan untuk membentuk profil material sesuai desain akhir yang di inginkan.

Profil material 6.00 lengkung, bagian lengkung di tengah dan akan diluruskan pada tahap pertama *pressing* material .



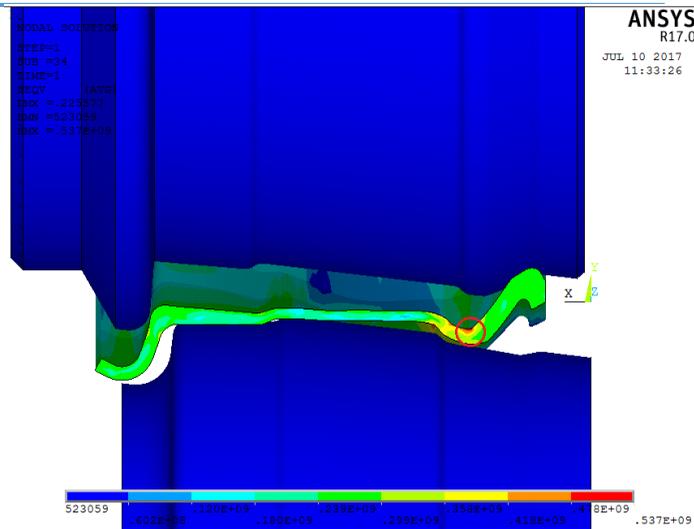
Gambar 4.1 Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lengkung Sesaat Akan Menyentuh *Roller* Bawah

Pada Gambar 4.1. terlihat bahwa bagian tengah material rim 6.00 lengkung akan menyentuh terlebih dahulu bagian ujung *mold* bawah sehingga tegangan pada daerah tersebut mengalami peningkatan pada *range* 130-160 Mpa. Nilai tegangan maksimal pada tahap ini ada diantara nilai 265-295 Mpa.



Gambar 4.2. Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lengkung Sesaat Sebelum Akhir Proses Pengerolan.

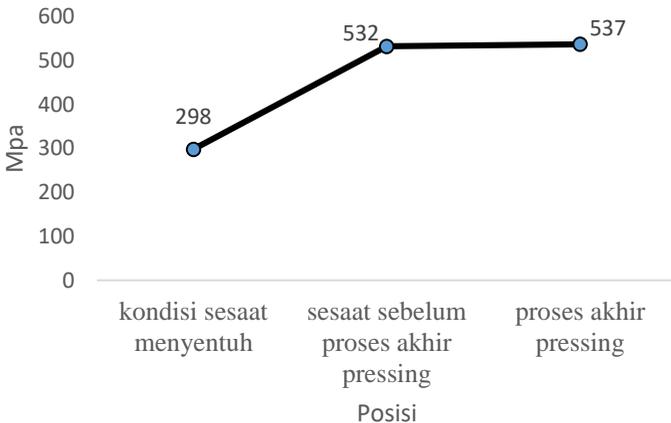
Pada *Gambar 4.2.* bagian tengah material 6.00 lengkung mengalami pelurusan. Pada proses pelurusan terdapat kenaikan tegangan di daerah *fillet* sebelah kanan rim 6.00 lengkung yang ditandai oleh lingkaran merah. Konsentrasi tegangan dengan nilai *range* 480-530 Mpa ini terjadi dikarenakan adanya perubahan geometri pada proses *pressing* dan pengaruh daerah *fillet*. Secara teoritis adanya *fillet* menjadi salah satu penyebab terjadinya konsentrasi tegangan. Transfer tegangan menjadi tidak merata diakibatkan oleh perubahan arah rambat tegangan. Perubahan arah rambat tegangan tersebutlah yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan.



Gambar 4.3. Persebaran Tegangan Von Misses Rim 6.00 Lengkung pada Akhir Proses *Pressing*.

Pada akhir proses *pressing* seluruh bagian rim 6.00 lengkung sudah dalam kondisi lurus, dapat dikatakan proses *pressing* sudah berakhir. Nilai konsentrasi tegangan tertinggi yang terjadi pada daerah yang ditandai dengan lingkaran merah memiliki *range* berkisar 480-540 Mpa. Secara umum persebaran tegangan akhir proses *pressing* material rim 6.00 lengkung adalah tidak merata, dan terpusat pada daerah pada daerah yang diberi tanda lingkaran merah.

Dari ketiga tahap *pressing* material rim 6.00 lengkung tersebut menunjukkan bahwa daerah konsentrasi tegangan selalu terjadi di daerah terdampak geometri berbentuk *fillet*, untuk mengetahui trend von misses ketiga tahap tersebut pada daerah konsentrasi tegangan tertinggi, maka node dengan nilai tegangan tertinggi pada daerah *fillet* tersebut dipilih, pada Gambar 4.4. menunjukkan nilai kenaikan tegangan pada node 7563 material rim 6.00 lengkung.



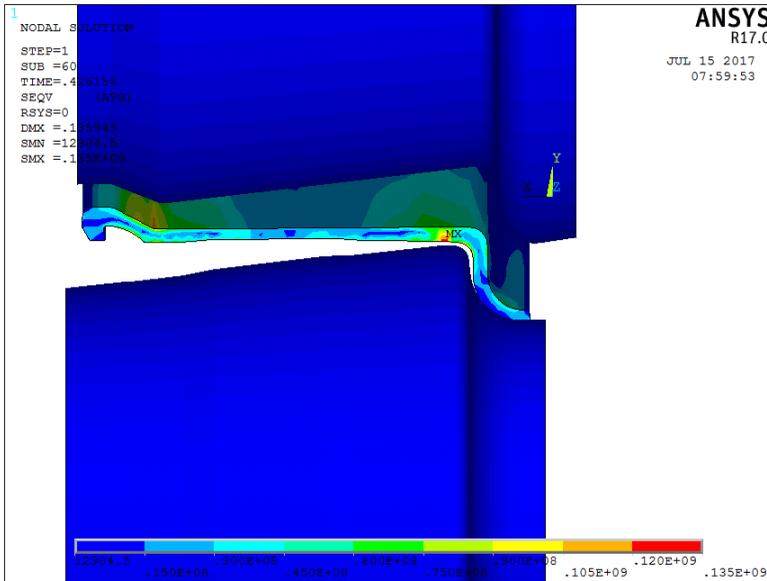
Gambar 4.4. Nilai Trend Tegangan Von Mises Material Rim 6.00 Lengkung pada Proses *Pressing*

4.1.2. Proses *Pressing* Material 6.00 Lurus

Proses pertama dalam pengerolan adalah proses *pressing*. Proses ini bertujuan untuk membentuk profil material sesuai desain akhir yang diinginkan.

Profil material rim 6.00 lurus memiliki bagian lurus di tengah dan yang membedakan dengan profil material rim 6.00 lengkung adalah bentuk rim sudah bersesuaian dengan *mold roller*. Material rim 6.00 lurus bagian tengah tidak terjadi konsentrasi tegangan, bagian tersebut memiliki nilai distribusi tegangan berkisar 30-40 Mpa . Pada bagian ujung – ujung *fillet* terjadi kenaikan tegangan dengan nilai von mises tertinggi pada range 120-135 Mpa. Pada awal proses *pressing* material rim 6.00 lurus tidak terjadi perubahan besar bentuk geometri sehingga nilai tegangan maksimum masih dibawah nilai tegangan tarik.

BAB IV ANALISIS DATA

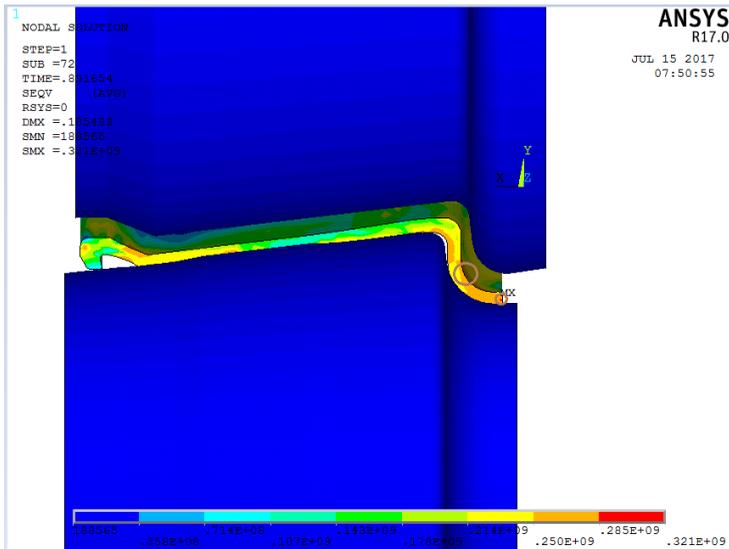


Gambar 4.5. Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lurus Sesaat Akan Menyentuh *Roller* Bawah

Pada tahap selanjutnya material rim 6.00 lurus akan memasuki tahap menyentuh *roll* bawah dan mengikuti alur dari roll bawah, proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.6., pada tahap ini hampir seluruh ujung material rim 6.00 lurus menyentuh seluruh permukaan roll bawah, sehingga nilai tegangan pada bagian tengah rim 6.00 lurus merata pada *range* 215-250 Mpa. Terdapat konsentrasi tegangan tinggi pada bagian ujung *fillet* sebelah kanan dengan nilai *range* tegangan 285-320 Mpa. Konsentrasi tegangan ini terjadi karena pada daerah ujung terdapat dua daerah transisi *fillet* dan daerah tersebut merupakan daerah yang pertama menyentuh bagian *roll* bawah sehingga nilai tegangannya lebih besar daripada daerah lain. Jarak transisi *fillet* satu dengan *fillet* yang lainnya yang pendek menjadikan konsentrasi tegangan paling

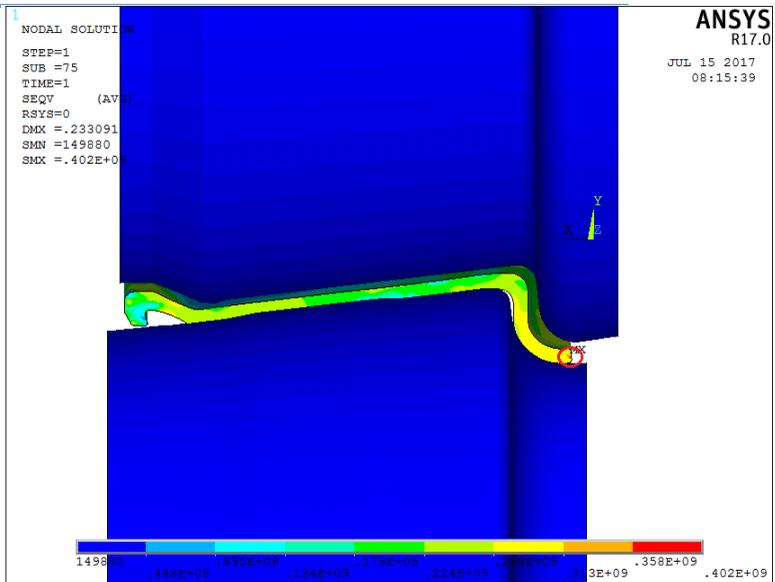


tinggi terjadi pada daerah ujung kanan material yang ditandai oleh lingkaran kecil Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lurus Sesaat Sebelum Akhir Proses *Pressing*.

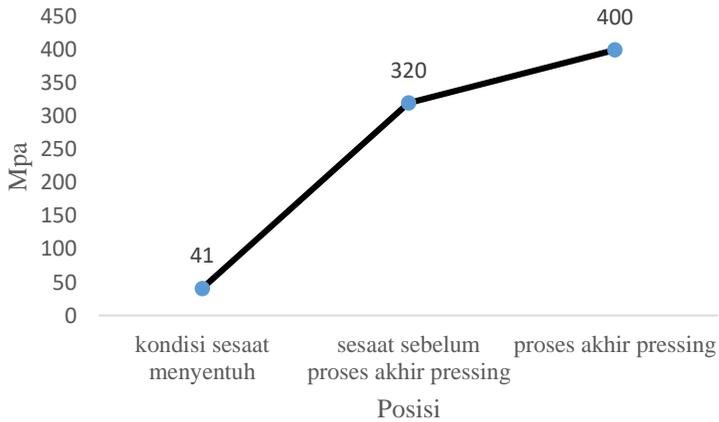
Pada akhir proses pengerolan, material rim 6.00 lurus telah menyentuh roll bawah yang ditunjukkan pada Gambar 4.7., hal tersebut menyebabkan persebaran tegangan menjadi tersebar secara merata pada *range* nilai 260-260 Mpa. Dua daerah konsentrasi tegangan paling ujung material rim 6.00 lurus telah mentransfer nilai tegangannya sehingga daerah persebaran tegangannya menjadi lebih merata, namun mensesikan nilai konsentrasi tegangan paling tinggi pada daerah yang dilingkari dengan lingkaran paling kecil (Gambar 4.7.). Nilai konsentrasi tegangan pada titik tersebut memiliki *range* nilai sebesar 360-400 Mpa. Nilai ini meningkat sekitar 80 Mpa dari tahap sebelumnya yang berada pada *range* 285-320 Mpa.



Gambar 4.7. Persebaran Tegangan Von Mises Rim 6.00 Lurus pada Akhir Proses *Pressing*.

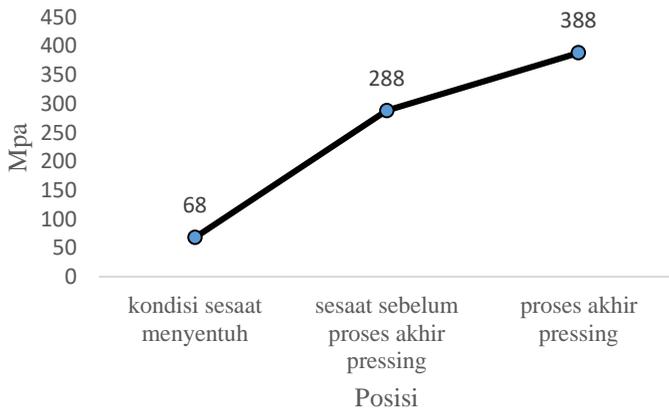
Secara umum persebaran tegangan akhir proses *pressing* material 6.00 lurus adalah merata pada seluruh permukaan, dan terdapat nilai konsentrasi tegangan tertinggi pada baigan *fillet* yang ditandai oleh warna merah

Dari ketiga tahap *pressing* material rim 6.00 lurus tersebut menunjukkan bahwa daerah konsentrasi tegangan selalu terjadi di daerah terdampak geometri berbentuk *fillet*, untuk mengetahui trend von misses ketiga tahap tersebut pada daerah konsentrasi tegangan tertinggi, maka node dengan nilai tegangan tertinggi pada daerah *fillet* tersebut dipilih. Gambar 4.8 menunjukkan nilai kenaikan tegangan pada node 450 material rim 6.00 lurus.



Gambar 4.8. Nilai Trend Tegangan Von Mises Material rim 6.00 Lurus pada Proses *Pressing*

4.1.3. Proses *Pressing* Rim 7.50 Lurus



Gambar 4.9. Nilai Trend Tegangan Von Mises Material rim 7.50 Lurus pada Proses *Pressing*

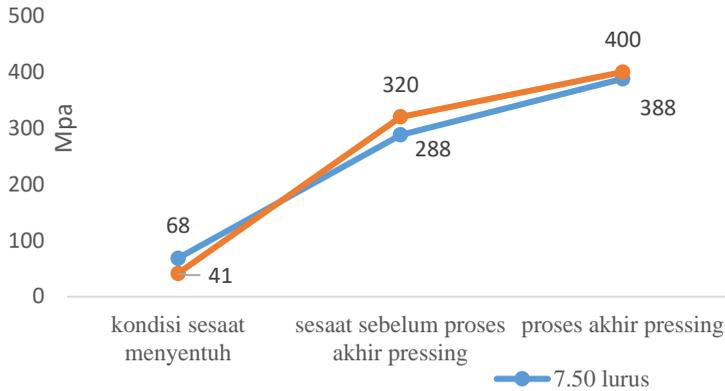


BAB IV ANALISIS DATA

Nilai tegangan maksimum pada proses pressing rim 7.50 lurus dapat dilihat pada Gambar 4.9, pada gambar tersebut diplotkan nilai tegangan maksimum pada node 806 material rim 7.50 lurus. Proses *pressing* material rim 7.50 lurus, secara mekanismenya hampir sama dengan material rim 6.00 lurus, hal ini dikarenakan kesamaan bentuk geometri kedua material. Keduanya memiliki nilai konsentrasi tegangan paling tinggi pada bagian material yang menjadi tumpuan utama yaitu pada ujung *fillet*. Namun yang menjadi perbedaan adalah nilai tegangan akhir proses rim 7.50 lurus dengan panjang 1.623 meter nilainya relatif lebih kecil dibandingkan dengan rim 6.00 lurus yang memiliki panjang 1.275 meter, hal ini dikarenakan pengaruh panjang material akan mengubah area kontak *roll* dengan material. Tegangan di rumuskan sebagai $\sigma = \frac{F}{A}$, dengan gaya yang diberikan sama, namun panjang berbeda, maka luas alas akan berubah, nilai luas alas material dipengaruhi oleh panjang material, sehingga secara langsung berubahnya nilai tersebut akan memberikan perubahan nilai maksimum tegangan pada material.

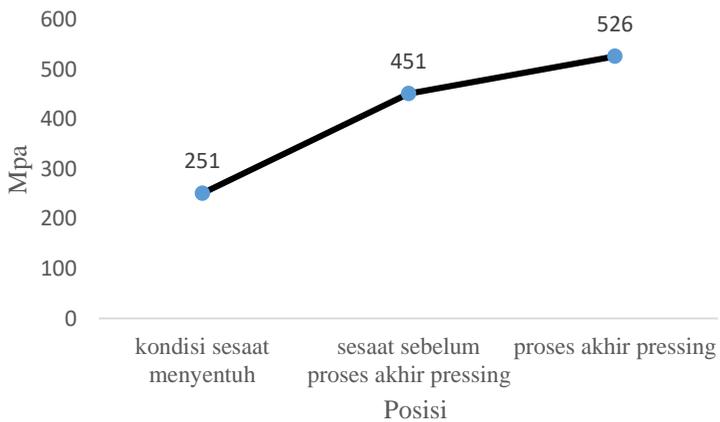
Selain itu material yang lebih panjang juga memiliki nilai kelenturan yang lebih tinggi, sehingga material dapat lebih mudah ditekek.

Gambar 4.10. menunjukkan nilai perbandingan tegangan von mises rim 6.00 lurus dengan rim 7.50 lurus yang nilainya dibandingkan dalam satu grafik. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan rim 7.50 lurus memiliki kecenderungan untuk memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai tegangan rim 6.00 lurus



Gambar 4.10. Nilai Perbandingan Tegangan Rim Lurus pada Proses *Pressing*

4.1.4 Proses *Pressing* Rim 7.50 Lengkung



Gambar 4.11. Nilai Trend Tegangan Von Mises Material Rim 7.50 Lengkung pada Proses *Pressing*

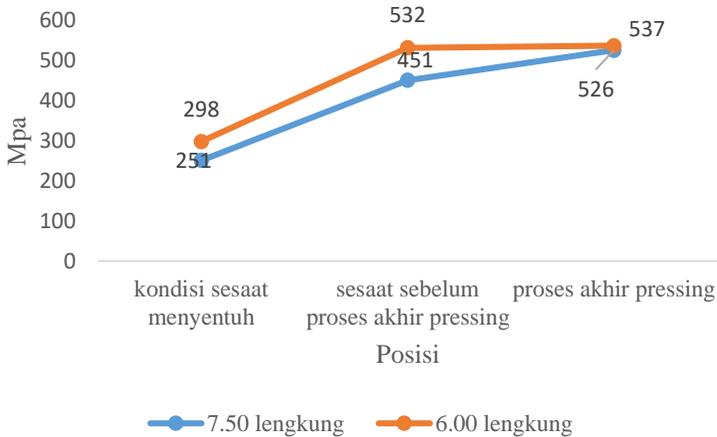


BAB IV ANALISIS DATA

Nilai tegangan maksimum pada proses pressing rim 7.50 lengkung dapat dilihat pada gambar 4.11., pada gambar tersebut diplotkan nilai tegangan maksimum pada node 2063 material rim 7.50 lengkung. Proses *pressing* material rim 7.50 lengkung, secara mekanismenya hampir sama dengan material rim 6.00 lengkung, hal ini dikarenakan kesamaan bentuk geometri kedua material. Keduanya memiliki nilai konsentrasi tegangan paling tinggi pada bagian material yang menjadi tumpuan utama dan bagian *fillet*. Namun yang menjadi perbedaan adalah nilai tegangan akhir proses rim 7.50 lengkung dengan panjang 1.623 meter nilainya relatif lebih kecil dibandingkan dengan rim 6.00 lengkung yang memiliki panjang 1.275 meter, hal ini dikarenakan pengaruh panjang material akan mengubah area kontak *roll* dengan material. Tegangan di rumuskan sebagai $\sigma = \frac{F}{A}$, dengan gaya yang diberikan sama, namun panjang berbeda, maka luas alas akan berubah, nilai luas alas material dipengaruhi oleh panjang material, sehingga secara langsung berubahnya nilai tersebut akan memberikan perubahan nilai maksimum tegangan pada material.

Selain itu material yang lebih panjang juga memiliki nilai kelenturan yang lebih tinggi, sehingga material dapat lebih mudah ditebuk.

Gambar 4.12. menunjukkan nilai perbandingan tegangan von mises rim 6.00 lengkung dengan rim 7.50 lengkung yang nilainya dibandingkan dalam satu grafik. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan rim 7.50 lengkung memiliki kecenderungan untuk memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai tegangan rim 6.00 lengkung



Gambar 4.12. Nilai Perbandingan Tegangan Von Mises Material Rim Lengkung pada Proses *Pressing*

4.1.5. Perbandingan Rim 6.00 lurus & 6.00 lengkung pada Proses *Pressing*

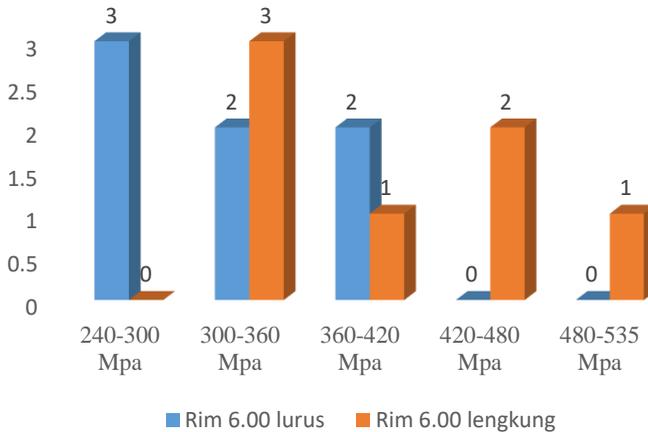
Hasil dari akhir proses *pressing* dimana material rim 6.00 lengkung dan rim 6.00 lurus telah mengalami deformasi mengikuti bentuk *mold roller*. Keduanya memiliki kecenderungan untuk mengalami konsentrasi tegangan, baik nilainya besar atau kecil.

Secara teoritis rim material rim 6.00 yang memiliki desain lengkung dan diluruskan pada tahap *pressing* akan mendapatkan nilai gaya tekan yang besar untuk menghasilkan deformasi sesuai dengan *mold roller*. Sedangkan material rim 6.00 yang memiliki profil lurus sesuai dengan *mold roller*, besarnya deformasi tidak terlalu besar, relatif terhadap rim 6.00 lengkung.

Pada gambar 4.13. dipilih tujuh titik konsentrasi tegangan terbesar antara material rim 6.00 lurus dan rim 6.50 lengkung dan *range* nilai tersebut diplotkan menjadi grafik batang.



BAB IV ANALISIS DATA



Gambar 4.13. Perbandingan Nilai Titik –Titik Konsentrasi Tegangan antara Rim 6.00 Lurus dan 6.00 Lengkung pada Proses *Pressing*

Pada Gambar 4.13. terlihat bahwa pada tujuh titik konsentrasi tegangan, rim 6.00 lurus memiliki *range* tegangan dengan jarak antara 240-420 Mpa, sedangkan rim 6.00 lengkung memiliki *range* jarak tegangan antara 300-535 Mpa. Dapat disimpulkan bahwa rim 6.00 lengkung memiliki nilai konsentrasi tegangan jauh lebih tinggi sekitar 115 Mpa pada titik tegangan paling tinggi kedua desain profil material.

Konsentrasi tegangan yang terlalu tinggi pada satu titik dapat memicu terjadinya *crack* apabila tegangannya mendekati nilai UTS, berkurangnya sifat mekanik material menjadi tidak homogen. dan berkurangnya sifat *fatigue strength* dari suatu material (Fo Sonmet, 2008).

Nilai tegangan rim 6.00 lengkung pada tahap *pressing* tertinggi berada pada titik 537 Mpa, nilai tersebut lebih kecil daripada nilai UTS material SS400 sebesar 700 Mpa, sedangkan rim 6.00 lurus berada di titik 400 Mpa juga masih dibawah nilai UTS material SS400 sebesar 700 Mpa.

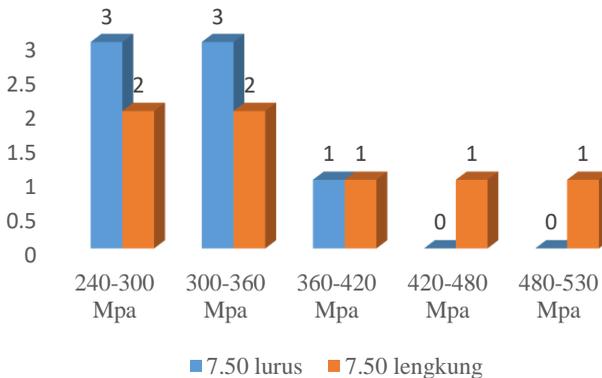


4.1.6. Perbandingan Rim 7.50 lurus & 7.50 lengkung pada Proses *Pressing*

Hasil dari akhir proses *pressing* dimana material rim 7.50 lengkung dan rim 7.50 lurus telah mengalami deformasi mengikuti bentuk *mold roller*. Keduanya memiliki kecenderungan untuk mengalami konsentrasi tegangan, baik nilainya besar atau kecil.

Secara teoritis rim material rim 7.50 yang memiliki desain lengkung dan diluruskan pada tahap *pressing* akan mendapatkan nilai gaya tekan yang besar untuk menghasilkan deformasi sesuai dengan *mold roller*. Sedangkan material rim 7.50 yang memiliki profil lurus sesuai dengan *mold roller*, besarnya deformasi tidak terlalu besar, relatif terhadap rim 7.50 lengkung.

Pada Gambar 4.14. dipilih tujuh titik konsentrasi tegangan terbesar antara material rim 7.50 lengkung dan rim 7.50 lurus dan *range* nilai tersebut diplotkan menjadi grafik batang.



Gambar 4.14. Perbandingan Nilai Titik –Titik Konsentrasi Tegangan antara Rim 7.50 Lurus dan 7.50 Lengkung pada Proses *Pressing*



BAB IV ANALISIS DATA

Pada gambar 4.14. terlihat bahwa pada tujuh titik konsentrasi tegangan, rim 7.50 lurus memiliki *range* tegangan dengan jarak antara 240-360 Mpa, sedangkan rim 7.50 lengkung memiliki *range* jarak tegangan antara 240-530 Mpa. Dapat disimpulkan bahwa rim 7.50 lengkung memiliki nilai konsentrasi tegangan jauh lebih tinggi sekitar 110 Mpa pada titik tegangan paling tinggi kedua desain profil material.

Konsentrasi tegangan yang terlalu tinggi pada satu titik dapat memicu terjadinya *crack* apabila tegangannya mendekati nilai UTS, berkurangnya sifat mekanik material menjadi tidak homogen dan berkurangnya sifat *fatigue strength* dari suatu material (Fo Sonmet, 2008).

Nilai tegangan rim 7.50 lengkung pada tahap *pressing* tertinggi berada pada titik 526 Mpa, nilai tersebut lebih kecil daripada nilai UTS material SS400 sebesar 700 Mpa, sedangkan rim 7.50 lurus berada di titik 388 Mpa juga masih dibawah nilai UTS material SS400 sebesar 700 Mpa.

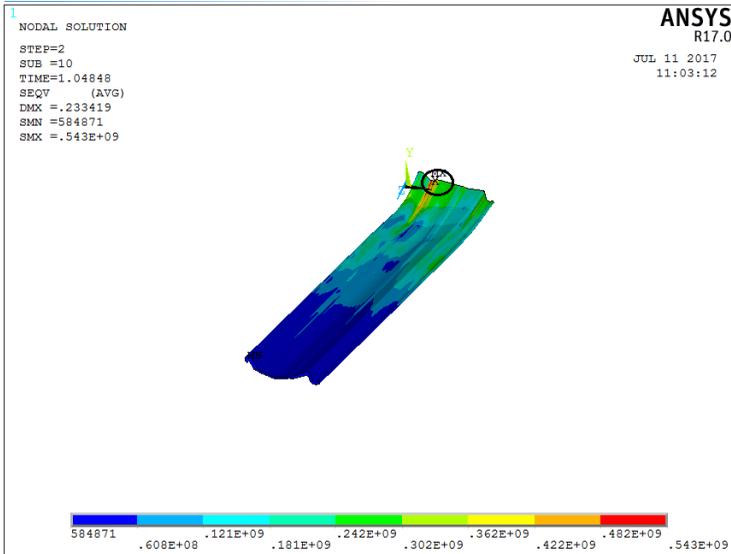
4.2. Proses Sesaat akan *Rolling*

4.2.1. Proses Sesaat Akan *Rolling* Material Rim 6.00 Lengkung

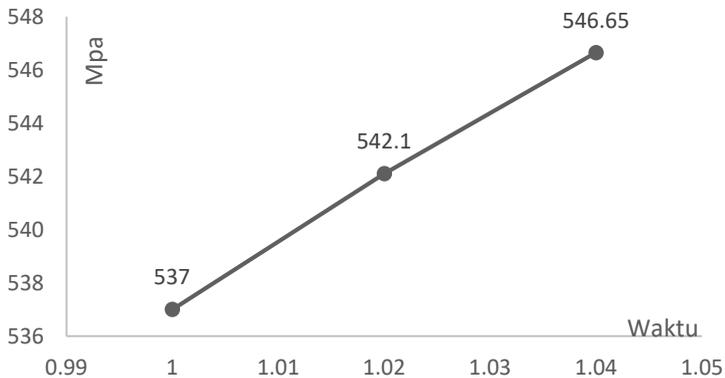
Proses ketika kondisi material statis menuju awal akan bergerak dinamis menunjukkan bahwa pada material rim 6.00 lengkung tegangan paling tinggi masih berada pada daerah *fillet* paling kanan. Daerah tersebut ditunjukkan pada gambar 4.15 ditandai dengan lingkaran hitam. Tegangan von mises memiliki kecenderungan naik nilainya dari awal detik 1 hingga detik 1.04, (Gambar 4.15).

Kenaikan tegangan pada titik *fillet* disebabkan karena daerah tersebut menjadi salah satu titik tumpuan utama pada saat rim akan mulai diputar.

BAB IV ANALISIS DATA



Gambar 4.15. Material Rim 6.00 Lengkung Kondisi Tepat Akan Bergerak pada Detik 1.04



Gambar 4.16. Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi pada Daerah *fillet* Material Rim 6.00 Lengkung Sesaat Akan *Rolling*



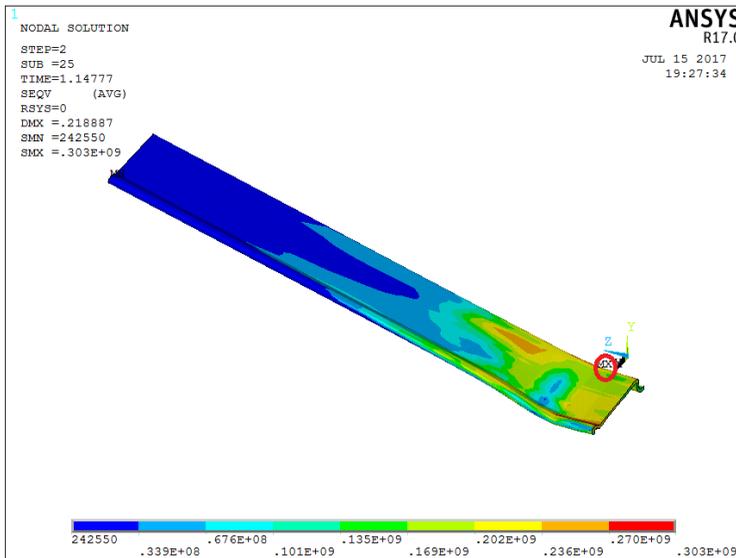
BAB IV ANALISIS DATA

4.2.2. Proses Sesaat akan *Rolling* Material Rim 6.00 Lurus

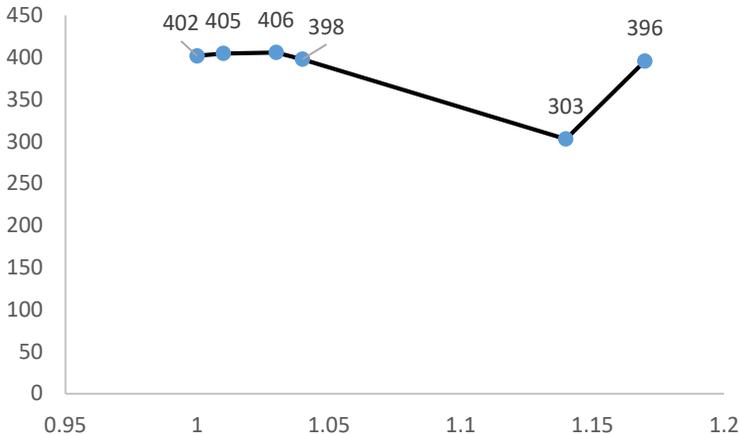
Konsentrasi tegangan paling tinggi sempat berpindah dari daerah *fillet* ujung material rim 6.00 lurus ke daerah lainnya, pada detik 1.14. Perpindahan tersebut ditunjukkan oleh lingkaran merah Gambar 4.17.

Perpindahan ini terjadi karena pada *roller* 6.00 lurus seluruh *mold roller* atas menyentuh permukaan rim material 6.00 lurus, sehingga ketika terjadi rotasi, posisi yang tadinya ketat menjadi renggang dan menyebabkan turunnya tegangan pada daerah *fillet* tersebut. Setelah melewati detik 1.14, konsentrasi tegangan kembali ke titik awal.

Nilai tegangan maksimal von mises pada daerah *fillet* saat proses *pressing* sempat mengalami penurunan dari nilai 398 Mpa menjadi 303 Mpa pada detik 1.14, dan tegangan menjadi naik kembali menjadi 396 Mpa ketika material rim 6.00 lurus tepat akan bergerak. Nilai trend tegangan ini dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.17. Material Rim 6.00 Lurus yang Mengalami Perubahan Titik Tegangan Tertinggi Akibat Proses *Rolling*.



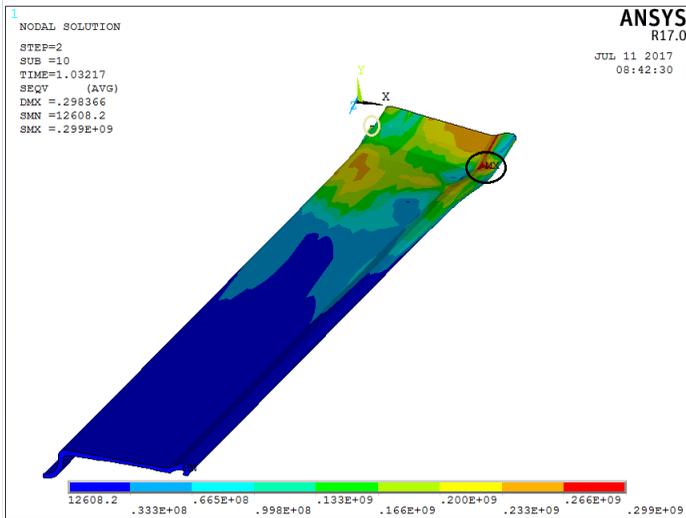
Gambar 4.18. Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi pada Daerah *Fillet* Material 7.50 Sesaat Akan *Rolling*.

4.2.3. Proses Sesaat akan *Rolling* Material Rim 7.50 Lurus

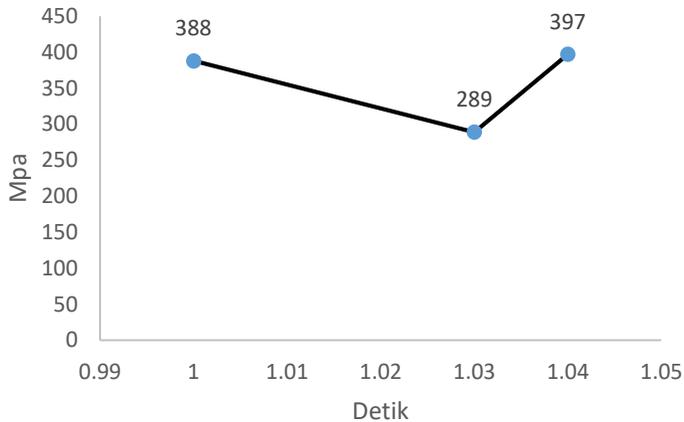
Konsentrasi tegangan paling tinggi sempat berpindah dari daerah *fillet* ujung material rim 7.50 lurus ke daerah lainnya, pada detik 1.03 . Perpindahan tersebut ditunjukkan oleh lingkaran hitam Gambar 4.19 .

Perpindahan ini terjadi karena pada *roller* rim 7.50. Seluruh *mold roller* atas menyentuh permukaan rim material 7.50 lurus, sehingga ketika terjadi rotasi , posisi yang tadinya ketat menjadi renggang dan menyebabkan turunnya tegangan pada daerah *fillet* tersebut. Setelah melewati detik 1.03, konsentrasi tegangan kembali ke titik awal.

Nilai tegangan maksimal von mises pada daerah *fillet* saat prose *pressing* sempat mengalami penurunan dari nilai 388 Mpa menjadi 289 Mpa pada detik 1.03, dan tegangan menjadi naik kembali menjadi 397 Mpa ketika material rim 7.50 lurus tepat akan bergerak. Nilai trend tegangan ini dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.19. Material Rim 7.50 Lurus yang Mengalami Perubahan Titik Tegangan Tertinggi Akibat Proses *Rolling*.



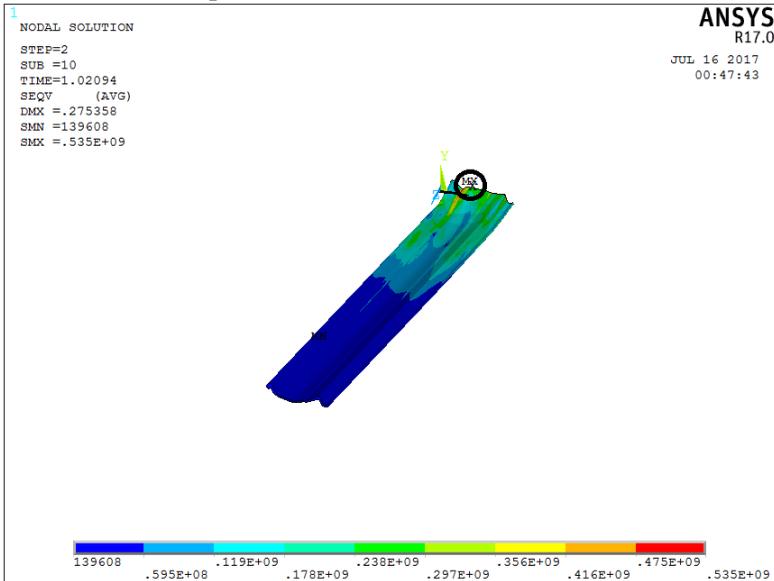
Gambar 4.20 Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi pada Daerah *Fillet* Material 7.50 Lurus Sesaat akan *Rolling*.



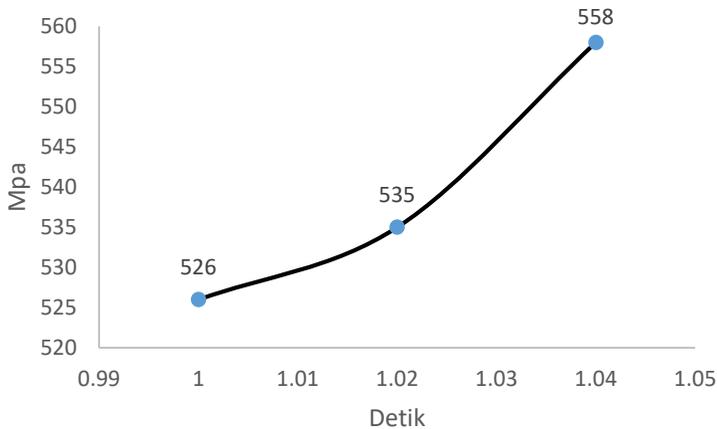
4.2.4. Proses Sesaat akan *Rolling* Material Rim 7.50 Lengkung

Proses ketika kondisi material statis menuju awal akan bergerak dinamis menunjukkan bahwa pada material rim 7.50 lengkung tegangan paling tinggi masih berada pada daerah *fillet* paling kanan. Daerah tersebut ditunjukkan pada gambar 4.10 ditandai dengan lingkaran hitam. Tegangan von mises memiliki kecenderungan naik nilainya dari awal detik 1 hingga detik 1.04, (Gambar 4.21).

Kenaikan tegangan pada titik *fillet* disebabkan karena daerah tersebut menjadi salah satu titik tumpuan utama pada saat rim akan mulai diputar.



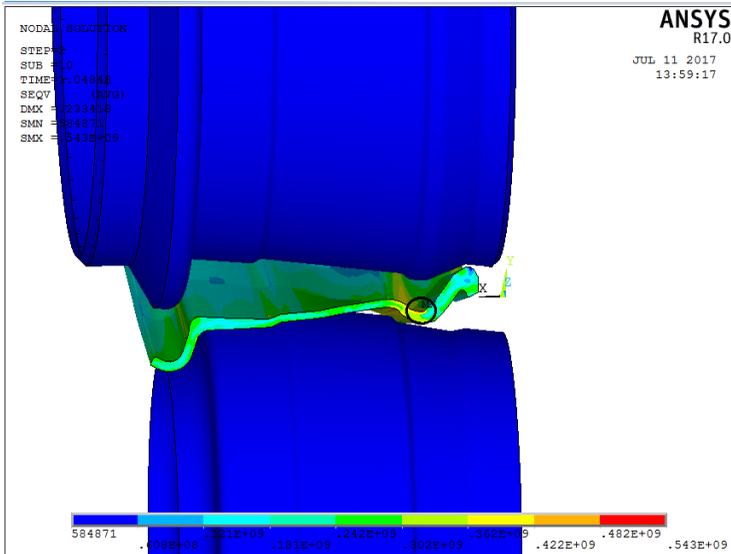
Gambar 4.21. Material Rim 7.50 Lengkung Kondisi Tepat Akan Bergerak pada Detik 1.04



Gambar 4.22. Nilai Tegangan Von Mises Tertinggi pada Daerah *Fillet* Material Rim 7.50 Lengkung Sesaat Akan *Rolling*.

4.2.5. Perbandingan Rim 6.00 Lurus dan 6.00 Lengkung Tepat *Rolling*

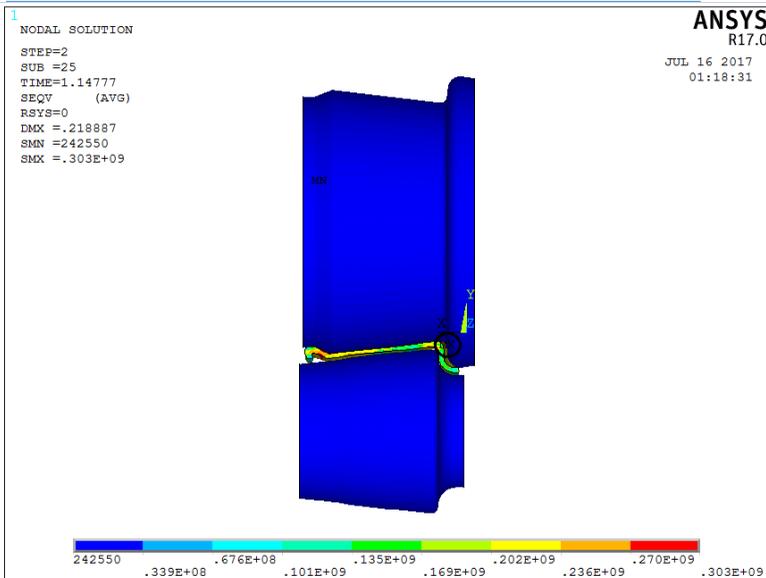
Material rim 6.00 profil lengkung di tengah di putar dalam keadaan roll atas tidak menyentuh seluruh permukaan material, sedangkan material rim 6.00 lurus diputar dalam keadaan menyentuh seluruh permukaan rim 6.00 lurus. Ketika material rim 6.00 berada kondisi tepat akan berputar, konsentrasi tegangan tertinggi pada daerah *fillet* tetap mengalami kenaikan dikarenakan bagian tersebut tetap menjadi pusat tumpuan awal proses *rolling* .



Gambar 4.23 Tumpuan Utama Rim 6.00 Lengkung pada Saat Tepat Akan Berputar

Material rim 6.00 lurus memiliki trend tegangan yang berbeda dengan material rim 6.00 lengkung. Sebelum material rim berputar, terjadi pelepasan tegangan pada daerah *fillet* dengan nilai tegangan tertinggi, diakibatkan renggangnya jarak *fillet* dengan *mold roll*. Peregangan *roll* menyebabkan nilai tegangan pada daerah luasan *fillet* berkurang untuk waktu sesaat.

BAB IV ANALISIS DATA

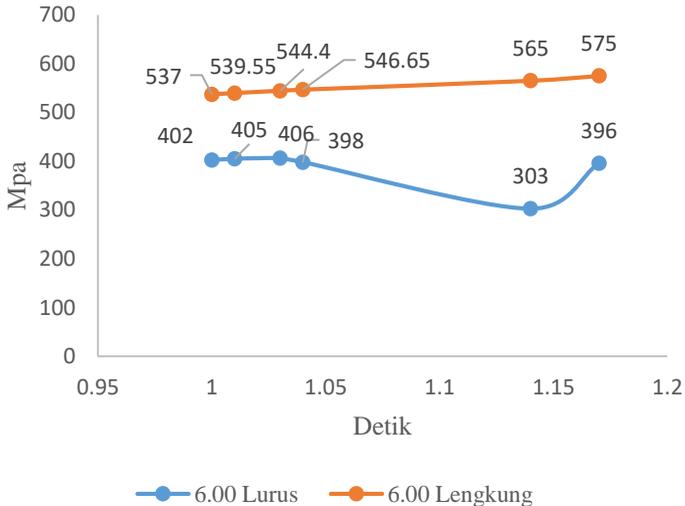


Gambar 4.24. Perpindahan Arah Konsentrasi Tegangan Rim 6.00 Lurus Sesaat Pengerolan Terjadi

Nilai tegangan tertinggi pada masing masing daerah *fillet* rim diplot menjadi grafik. Grafik diplot dari tahap awal *pressing* hingga pada saat rim akan bergerak. Trend menunjukkan bahwa nilai titik tegangan tertinggi material rim 6.00 lengkung pada saat proses *pressing* bersifat naik dengan *range* 537-575 mpa.

Material rim 6.00 lurus memiliki trend nilai yang terlebih dahulu turun hingga detik 1.14. Tegangan kembali mengalami kenaikan setelah melewati detik 1.14. Pada akhir proses nilai tegangan mengalami total kenaikan sekitar 10 Mpa menjadi 396 Mpa.

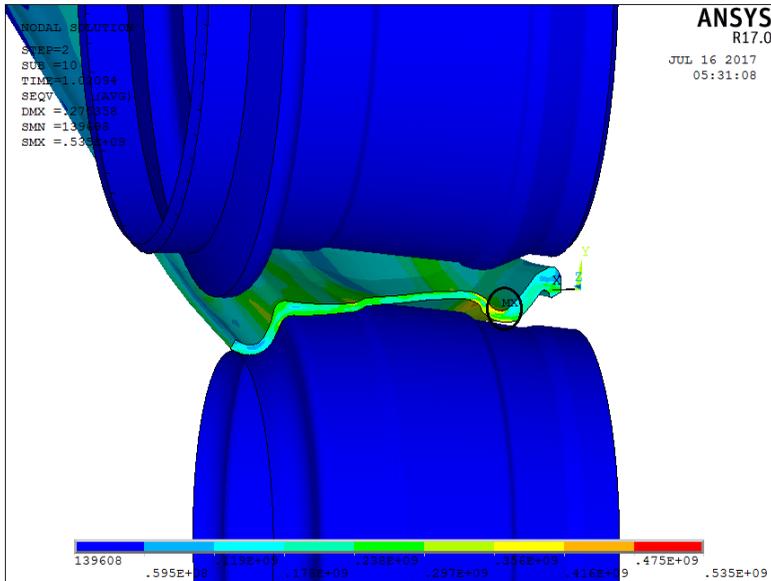
Gambar 4.25. Menunjukkan perbandingan nilai tegangan von mises material rim 6.00 lurus & 6.00 lengkung



Gambar 4.25. Perbandingan Nilai Tegangan Tertinggi pada *Fillet Rim 6.00 Lurus vs 6.00 Lengkung*

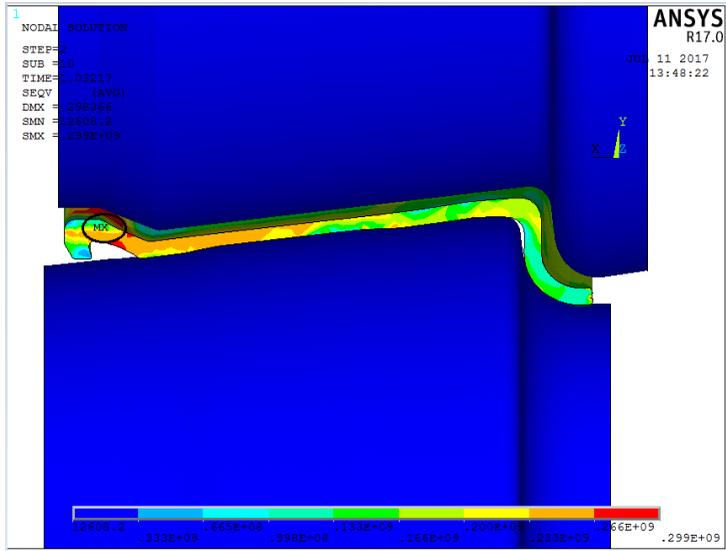
4.2.6. Perbandingan Rim 7.50 Lengkung dan 7.50 Lurus Tepat *Rolling*

Material rim 7.50 memiliki profil lengkung di tengah diputar dalam keadaan *roll* atas tidak menyentuh seluruh permukaan material, sedangkan material rim 7.50 lurus diputar dalam keadaan menyentuh seluruh permukaan rim 7.50. Ketika material rim 7.50 lengkung berada kondisi tepat akan berputar, konsentrasi tegangan tertinggi pada daerah *fillet* tetap mengalami kenaikan dikarenakan bagian tersebut tetap menjadi pusat tumpuan awal proses *rolling*.



Gambar 4.26 Tumpuan Utama Rim 7.50 Lengkung pada Saat Tepat Akan Berputar

Material rim 7.50 lurus memiliki trend tegangan yang berbeda dengan material rim 7.50 lengkung, Sebelum material rim berputar, terjadi pelepasan tegangan pada daerah *fillet* dengan nilai tegangan tertinggi, diakibatkan renggangnya jarak *fillet* dengan *mold roll*. Peregangan roll menyebabkan nilai tegangan pada daerah luasan *fillet* berkurang untuk waktu sesaat.

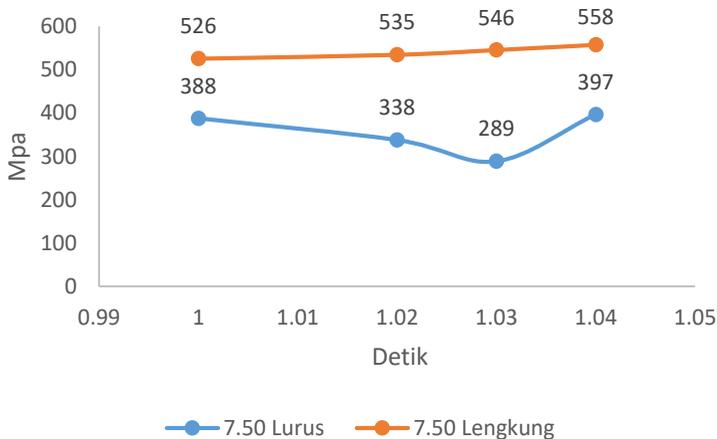


Gambar 4.27. Perpindahan Arah Konsentrasi Tegangan Rim 7.50 Lurus Saat Tepat Akan Pengerolan Terjadi

Nilai tegangan tertinggi pada masing masing daerah *fillet* rim diplot menjadi grafik. Grafik diplot dari tahap awal *pressing* hingga pada saat rim akan bergerak. Trend menunjukkan bahwa nilai titik tegangan tertinggi material rim 7.50 pada saat proses *pressing* bersifat naik dengan *range* 526-558 mpa.

Material rim 7.50 lurus memiliki trend nilai yang terlebih dahulu turun hingga detik 1.02. Tegangan kembali mengalami kenaikan setelah melewati detik 1.02. Pada akhir proses nilai tegangan mengalami total kenaikan sebesar 10 Mpa menjadi 397 Mpa.

Gambar 4.28. Menunjukkan perbandingan nilai tegangan von mises material rim 6.00 & 7.50



Gambar 4.28. Perbandingan Nilai Tegangan Tertinggi pada *Fillet* rim 7.50 Lurus vs 7.50 Lengkung

4.3. Proses Setengah Putaran Penuh *Roll*

4.3.1. Proses Setengah Putaran Penuh *Roll* Rim 6.00 lengkung

Proses setengah putaran roll rim 6.00 lengkung menunjukkan bahwa daerah konsentrasi tegangan sudah bergeser dari ujung luas depan rim bagian kanan material menjadi tepat di daerah pusat pengerolan. Berikut ini disediakan tabel tegangan von mises node- node pilihan pada daerah luas depan material rim 6.00 lengkung.



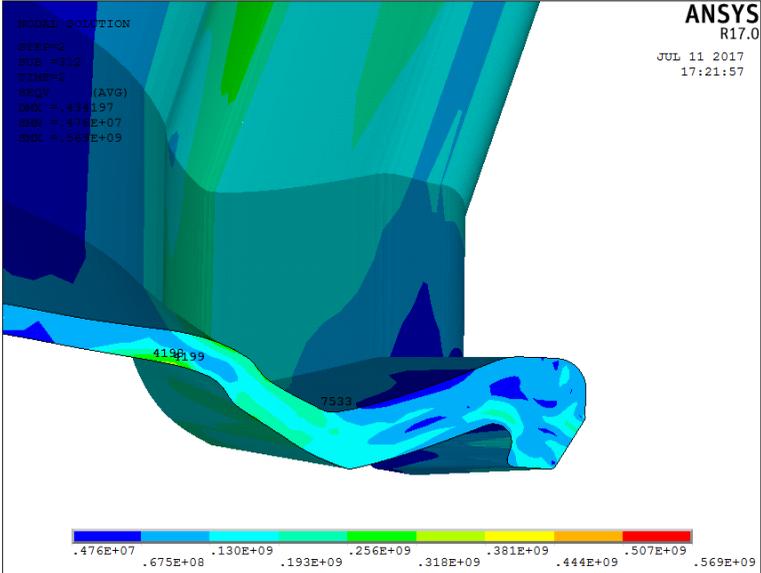
Tabel 4.2. Nilai Von Mises Node-Node Pilihan Rim 6.00 Lengkung

No	No. Node	Area	Nilai Tegangan Von Mises	Satuan
1	7533	Depan Rim	191	Mpa
2	4199	Depan Rim	353	Mpa
3	4198	Depan Rim	318	Mpa
4	2543	Daerah Rolling	569.3	Mpa

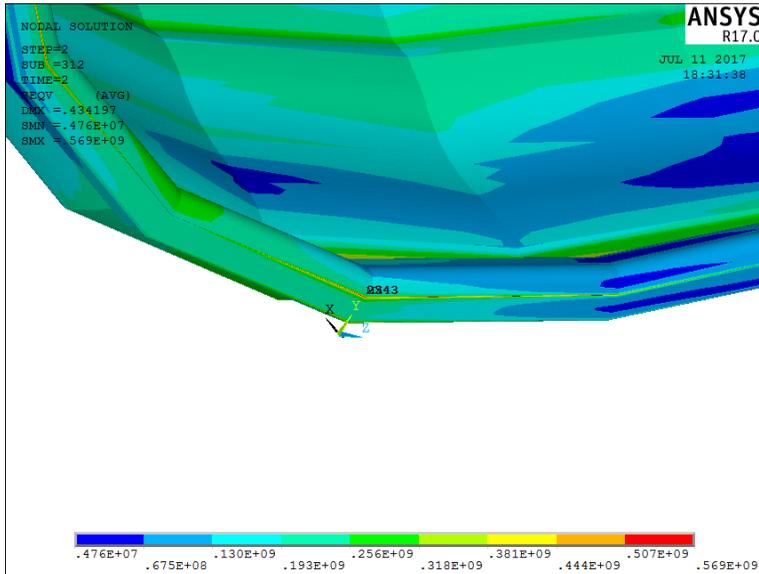
Node nomor 7533 dipilih karena pada tahap proses *pressing* dan sesaat material akan berputar akibat kontak dengan roll bawah, Node 7533 memiliki nilai tegangan yang tinggi dengan nilai tegangan maksimum 546 Mpa, namun pada tahap mencapai setengah putaran roll, daerah tersebut mengalami pelepasan tegangan. Nilai tegangan pada node 7533 turun menjadi 191 Mpa,

Penurunan tegangan yang besar ini terjadi dikarenakan pada daerah tersebut memiliki radius fillet yang besar, sehingga transisi dan transfer tegangan akan menjadi lebih halus, dan nilai konsentrasi tegangan dapat dikurangi lebih besar (Fo Slamet, 2008).

Node 4199 dan 4198 memiliki nilai tegangan sebesar 353 Mpa. Daerah tersebut merupakan daerah yang mengalami deformasi plastis akibat proses pembentukan disertai tambahan transisi radius *fillet* yang lebih kecil menyebabkan tegangan tidak turun secara signifikan meskipun daerah sekitar lainnya telah melewati tahap *stress relieve*.

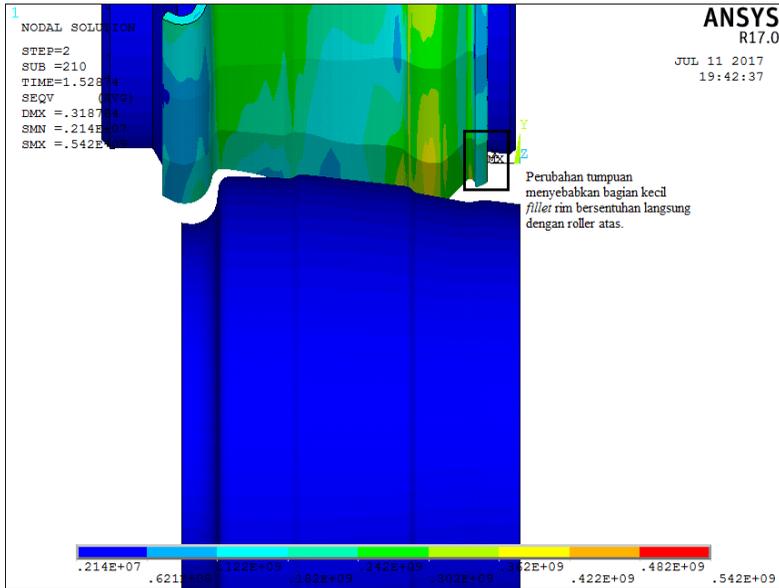


Gambar 4.29. Node 4158, Node 4199, Node 7533 Rim 6.00 Lengkung



Gambar 4.30. Titik Node 2543 yang Memiliki Tegangan Maksimum pada Proses Setengah Putaran Penuh *Roll*

Hal lain yang dapat dikaji dalam proses setengah putaran penuh *roll* untuk material rim 6.00 lengkung adalah terdapatnya nilai konsentrasi tegangan dengan *range* 507-569 Mpa, yang membentuk garis lurus memanjang pada ujung rim berdekatan dengan *roll* atas. Tegangan yang besar dan memanjang itu terbentuk saat adanya perpindahan tumpuan material rim 6.00 rim. Perpindahan tumpuan tersebut terjadi pada saat ujung paling depan rim 6.00 ketika akan mulai berputar. Perpindahan tersebut menyebabkan bagian ujung *fillet* dengan nilai radius kecil bersentuhan dengan *mold roller* bagian atas, dampaknya nilai tegangan daerah tersebut menjadi besar.



Gambar 4.31. Perubahan Tumpuan Rim 6.00 Lengkung

Pada gambar diatas setelah melewati seperempat putaran roller, tumpuan proses putaran tertumpu pada bagian kanan. Hal ini menyebabkan daerah *fillet* ujung rim bersentuhan dengan ujung *mold*. Proses ini menyebabkan peningkatan tekanan yaang tajam pada daerah yang diberi tanda kotak.

4.3.2. Proses Setengah Putaran Penuh Roll Rim 6.00 Lurus

Proses putaran *roll* setengah penuh rim 6.00 lurus menunjukkan titik konsentrasi tegangan tertinggi material tidak mengalami perubahan. Titik tersebut masih pada daerah area *fillet* awal proses. Nilai tertinggi tegangan dimiliki oleh node nomor 450 yang besarnya adalah 411 Mpa. Daerah sekitar node 406 merupakan area kecil yang menumpu proses pengerolan rim saat awal akan berputar. Node –node dengan nilai tertinggi dipilih dan diplotkan Pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Nilai Von Mises Node-Node Pilihan Rim 6.00 Lurus

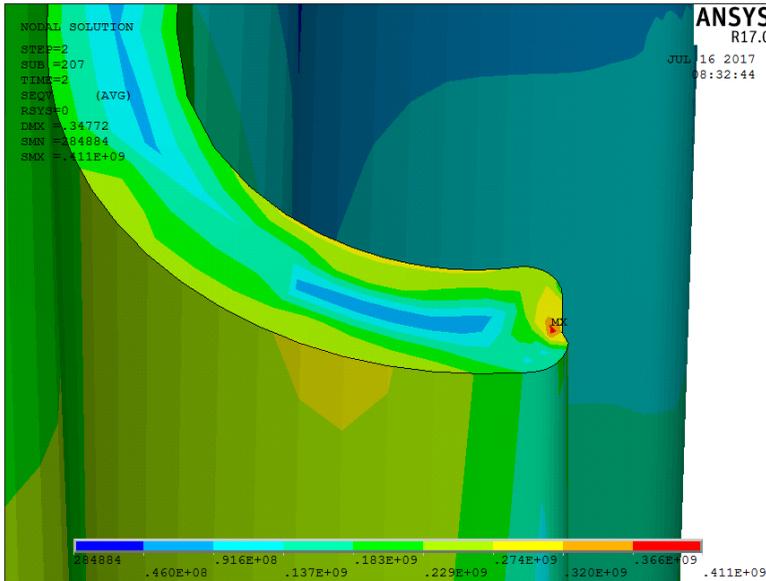
No	No Node	Area	Nilai Tegangan Von Mises	Satuan
1	450	Depan Rim	411	Mpa
2	294	Depan Rim	336	Mpa
3	4425	Daerah Rolling	243	Mpa
4	3598	Daerah Rolling	278	Mpa

Node nomor 450 dipilih karena pada tahap proses *pressing* dan sesaat material akan berputar akibat kontak dengan roll bawah, node tersebut memiliki nilai tegangan yang paling tinggi yaitu 400 Mpa. Pada tahap mencapai setengah putaran roll yaitu 180^0 , node tersebut masih mengalami peningkatan tegangan dan mencapai nilai 411 Mpa.

Area sekitar node 450 pada material rim 6.00 lurus memiliki nilai tegangan yang besarnya diantara 300-411 Mpa, tidak seperti area lain, area sekitar node 450 tidak terjadi *stress relieve* terlalu signifikan pada daerah tersebut. Kejadian itu dikarenakan pada awal tahap proses *pressing* luasan tersebut mengalami deformasi plastis paling besar, ditambah lagi nilai radius *fillet* yang kecil menyebabkan perpindahan tegangan untuk melepaskan tegangan menjadi terbatas.

Pada daerah *rolling* material rim 6.00 lurus, persebaran tegangan berkisar antara 210 Mpa-285 Mpa. Node 3598 dengan nilai tegangan 278 Mpa merupakan salah satu tegangan terbesar pada daerah yang terdampak *modal*.

Node 4425 yang memiliki nilai tegangan 243 Mpa dipilih untuk menggambarkan rata-rata tegangan yang tersebar pada daerah pusat pengerolan.



Gambar 4.32. Node 450 pada Material Rim 6.00 Lurus Ditandai Oleh Tanda Mx

4.3.3. Proses Setengah Putaran Penuh *Roll Rim 7.50 Lurus*

Proses putaran *roll* setengah penuh rim 7.50 lurus menunjukkan titik konsentrasi tegangan tertinggi material tidak mengalami perubahan. Titik tersebut masih pada daerah area *fillet* awal proses. Nilai tertinggi tegangan dimiliki oleh node nomor 806 yang besarnya adalah 356 Mpa. Daerah sekitar node 806 merupakan area kecil yang menumpu proses pengerolan rim saat awal akan berputar. Node –node dengan nilai tertinggi dipilih dan diplotkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Nilai Von Mises Node-Node Pilihan Rim 7.50 Lurus

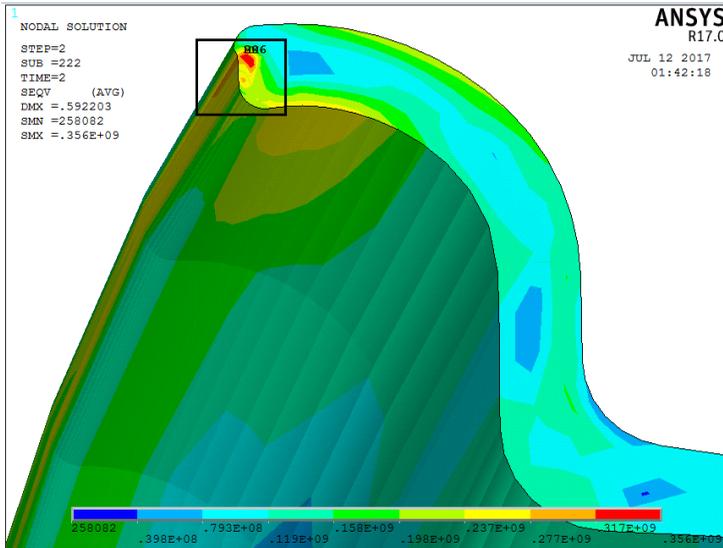
No	No Node	Area	Nilai Tegangan Von Mises	Satuan
1	806	Depan Rim	356	Mpa
2	1100	Depan Rim	322	Mpa
3	3767	Daerah <i>Rolling</i>	244	Mpa
4	5569	Daerah <i>Rolling</i>	286	Mpa

Node nomor 806 dipilih karena pada tahap proses *pressing* dan sesaat material akan berputar akibat kontak dengan roll bawah, Node 806 memiliki nilai tegangan yang tinggi dengan nilai tegangan maksimum 388 Mpa. Pada tahap mencapai setengah putaran *roll*, node tersebut mengalami pelepasan tegangan yang tidak terlalu signifikan. Nilai tegangan node 806 berubah dari 397 Mpa menjadi 356 Mpa.

Area sekitar node 860 pada material rim 7.50 lurus memiliki nilai tegangan yang besarnya diantara 250-350 Mpa, *Stress relieve* tidak terjadi terlalu signifikan pada daerah tersebut dikarenakan pada awal tahap proses *pressing* luasan tersebut mengalami deformasi plastis paling besar, ditambah lagi nilai radius *fillet* yang kecil menyebabkan perpindahan tegangan untuk melepaskan tegangan menjadi terbatas.

Pada daerah *rolling* material rim 7.50, persebaran tegangan berkisar antara 210 Mpa-290 Mpa. Node 5569 dengan nilai tegangan 286 Mpa merupakan nilai terbesar tegangan pada daerah yang terdampak *mold*.

Node 3767 yang memiliki nilai tegangan 244 Mpa dipilih untuk menggambarkan rata-rata tegangan yang tersebar pada daerah pusat pengerolan.



Gambar 4.33. Node 806 pada Material Rim 7.50 Lurus

4.3.4. Proses Setengah Putaran Penuh *Roll Rim 7.50 Lengkung*

Proses setengah putaran roll rim 7.50 lengkung menunjukkan bahwa daerah konsentrasi tegangan sudah bergeser dari ujung luas depan rim bagian kanan material menjadi tepat di daerah pusat pengerolan. Berikut ini disediakan tabel tegangan von mises node- node pilihan pada daerah luas depan material rim 7.50 lengkung.



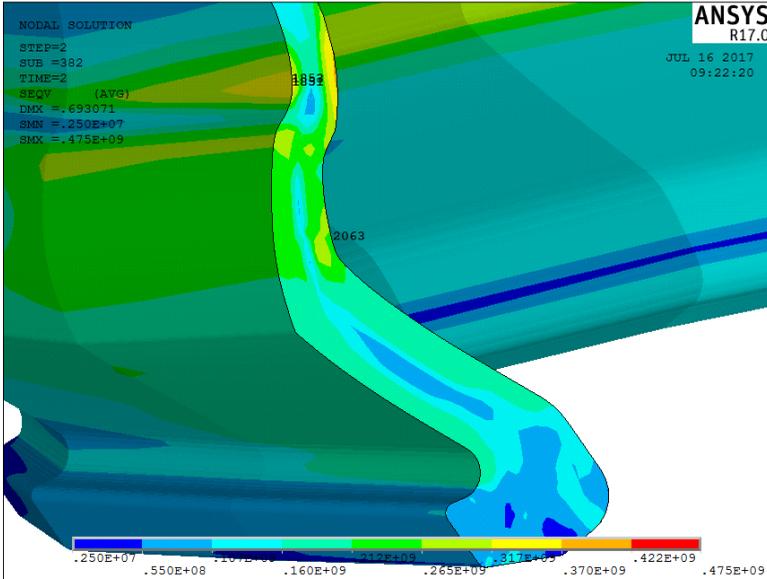
Tabel 4.5 Nilai Von Mises Node-Node Pilihan Rim 7.50 Lengkung

No	No Node	Area	Nilai Tegangan Von Mises	Satuan
1	2063	Depan Rim	251	Mpa
2	1851	Depan Rim	347	Mpa
3	1853	Depan Rim	353	Mpa
4	2873	Daerah Rolling	475	Mpa

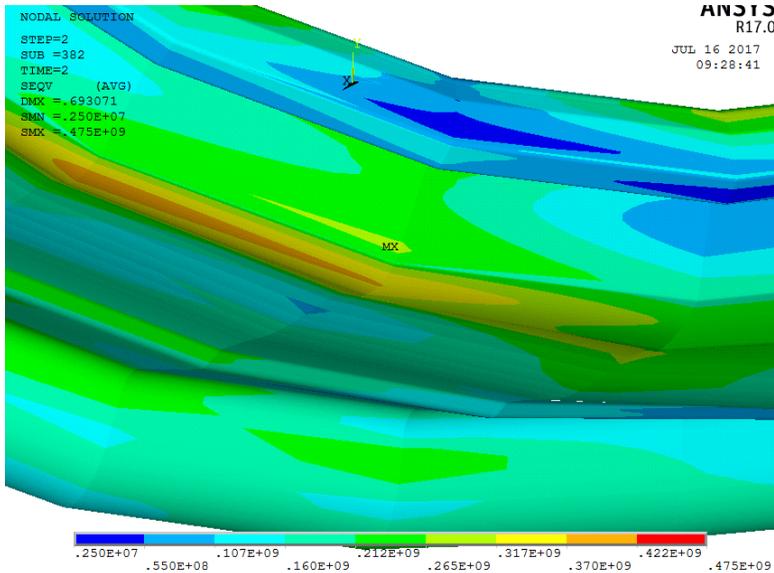
Node nomor 2063 dipilih karena pada tahap proses *pressing* dan sesaat material akan berputar akibat kontak dengan roll bawah, Node 2063 memiliki nilai tegangan yang tinggi dengan nilai tegangan maksimum 526 Mpa. namun pada tahap mencapai setengah putaran roll, daerah tersebut mengalami pelepasan tegangan. Nilai tegangan pada node 2063 turun menjadi 251 Mpa,

Penurunan tegangan yang besar ini terjadi dikarenakan pada daerah tersebut memiliki radius fillet yang besar, sehingga transisi dan transfer tegangan akan menjadi lebih halus, dan nilai konsentrasi tegangan dapat dikurangi lebih besar (Fo Slamet, 2008).

Node 1851 dan 1853 memiliki nilai tegangan sebesar 353-347 Mpa. Daerah tersebut merupakan daerah yang mengalami deformasi plastis akibat proses pembentukan disertai tambahan transisi radius *fillet* yang lebih kecil menyebabkan tegangan tidak turun secara signifikan meskipun daerah sekitar lainnya telah melewati tahap *stress relieve*.



Gambar 4.34. Node 1851, Node 1853, Node 2063 Rim 7.50 Lengkung

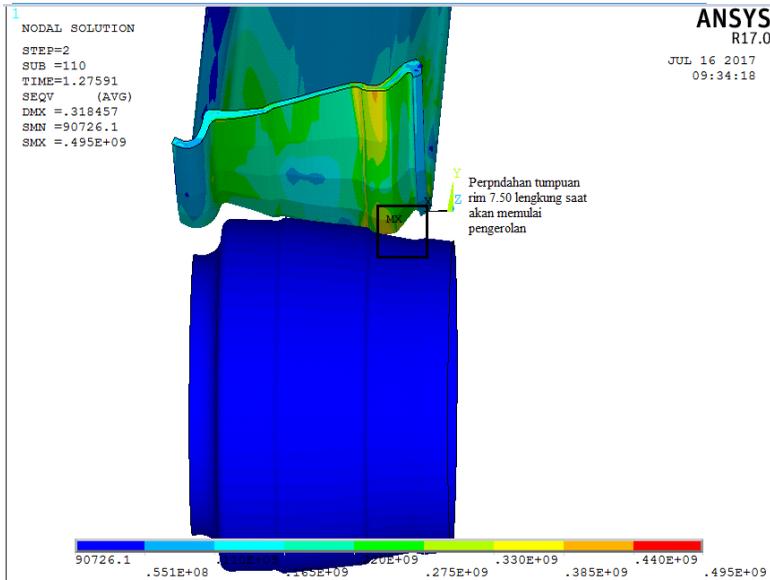


Gambar 4.35. Titik Node 2873 yang Memiliki Tegangan Maksimum Saat Proses Setengah Putaran Penuh *Roll*

Hal lain yang dapat dikaji dalam proses setengah putaran penuh *roll* untuk material rim 7.50 lengkung adalah terdapatnya nilai konsentrasi tegangan dengan *range* 442-475 Mpa, yang membentuk garis lurus sedikit memanjang pada ujung rim berdekatan dengan *roll* atas. Tegangan yang besar dan sedikit memanjang itu terbentuk saat adanya perpindahan tumpuan material rim 7.50 lengkung. Perpindahan tumpuan tersebut terjadi pada saat ujung paling depan rim 7.50 lengkung ketika akan mulai berputar. Perpindahan tersebut menyebabkan bagian ujung *fillet* dengan nilai radius kecil, bersentuhan dengan *mold roller* bagian atas, dampaknya nilai tegangan daerah tersebut menjadi besar.



BAB IV ANALISIS DATA



Gambar 4.36. Perubahan Tumpuan Rim 7.50 Lengkung

Pada gambar diatas setelah melewati seperempat putaran roller, tumpuan proses putaran tertumpu pada bagian kanan. Hal ini menyebabkan daerah *fillet* ujung rim bersentuhan dengan ujung *modal*. Proses ini menyebabkan peningkatan tekanan yang tajam pada daerah yang diberi tanda kotak.

4.3.5. Perbandingan Rim 6.00 Lurus & 6.00 Lengkung Proses Setengah Putaran Penuh

Rim 6.00 lengkung dan 6.00 lurus telah mengalami proses roll setengah penuh. Luasan depan rim kedua material sama-sama telah mengalami proses *stress relieve*, sehingga keduanya memiliki persebaran tegangan von mises yang kecil. Kedua area sama-sama memiliki daerah penurunan *stress relieve* lambat akibat defomasi plastis proses awal *pressing* ditambah dengan radius perubahan *fillet* yang kecil.



BAB IV ANALISIS DATA

Rim 6.00 lengkung memiliki daerah konsentrasi tegangan tertinggi yang terpusat dan memanjang diakibatkan perpindahan tumpuan pada saat awal proses pengerolan terjadi. Daerah ini memiliki konsentrasi tegangan dengan *range* 480-569.3 Mpa pada garis node 2542-2543. Tegangan terpusat dan memanjang terjadi akibat perpindahan pusat tumpuan pada ujung rim, yang menyebabkan daerah *fillet* dengan radius kecil berkontak dengan *mold roller*.

Rim 6.00 lurus memiliki daerah konsentrasi tegangan tertinggi yang terpusat dan pendek pada daerah sekitar 405. Sifat proses *pressing* material rim 6.00 lurus adalah menyentuh kedua sisi *mold roller*. Daerah sekitar node 405 adalah daerah dengan radius perpindahan *fillet* yang kecil dan daerah rim awal yang menyentuh *mold roller* bawah.

Tabel 4.6. Nilai Von Mises Node-Node Pilihan Rim 6.00

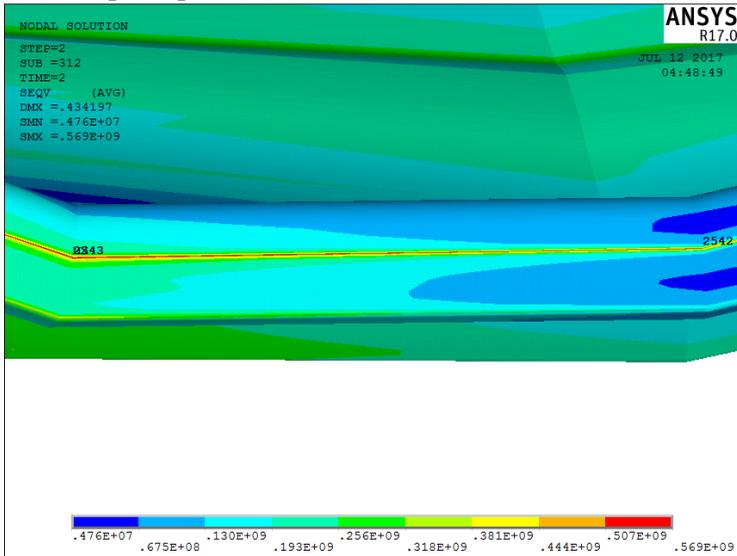
No	Material	Area	No Node	Nilai Tegangan	Sifat tegangan
1	6.00 Lurus	Depan Rim	405	411 Mpa	Terpusat dan pendek
2	6.00 Lurus	Depan Rim	294	336 Mpa	Terpusat dan pendek
3	6.00 Lurus	Daerah <i>Rolling</i>	4425	243 Mpa	Tersebar
4	6.00 lengkung	Daerah <i>Rolling</i>	2543	569.3 Mpa	Terpusat dan panjang
5	6.00 Lengkung	Daerah <i>Rolling</i>	2542	480 Mpa	Terpusat dan panjang
6	6.00 Lengkung	Depan Rim	4199	353 Mpa	Terpusat dan pendek

Tabel diatas menunjukkan perbandingan nilai tegangan rim 6.00 lurus & 6.00 lengkung. Pada saat proses setengah penuh *roll*. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa sifat persebaran tegangan rim 6.00 lurus lebih baik dengan alasan :



BAB IV ANALISIS DATA

- Rim 6.00 lurus memiliki nilai konsentrasi tegangan lebih rendah relatif terhadap rim 6.00 lengkung
- Rim 6.00 lurus tidak memiliki tegangan terpusat yang area cakupan panjang seperti pada rim 6.00 lengkung
- Rim 6.00 lurus tidak memiliki konsentrasi tegangan terpusat pada daerah *rolling*.



Gambar 4.37. Garis Konsentrasi Tegangan Node 2542-2543 Rim 6.00 Lengkung

4.3.6. Perbandingan Rim 7.50 Lurus & 7.50 Lengkung Proses Setengah Putaran Penuh

Rim 7.50 lengkung dan 7.50 lurus telah mengalami proses *roll* setengah penuh. Luasan depan rim kedua material sama-sama telah mengalami proses *stress relieve*, sehingga keduanya memiliki persebaran tegangan von mises yang kecil. Kedua area sama-sama memiliki daerah penurunan *stress relieve* lambat akibat defomasi plastis proses awal *pressing* ditambah dengan radius perubahan *fillet* yang kecil.



BAB IV ANALISIS DATA

Rim 7.50 lengkung memiliki daerah konsentrasi tegangan tertinggi yang terpusat dan memanjang diakibatkan perpindahan tumpuan pada saat awal proses pengerolan terjadi. Daerah ini memiliki konsentrasi tegangan dengan *range* 459-475 Mpa pada garis node 2873-2879. Tegangan terpusat dan memanjang terjadi akibat perpindahan pusat tumpuan pada ujung rim, yang menyebabkan daerah *fillet* dengan radius kecil berkontak dengan *mold roller*.

Rim 7.50 lengkung memiliki daerah konsentrasi tegangan tertinggi yang terpusat dan pendek pada daerah sekitar 806. Sifat proses *pressing* material rim 7.50 adalah menyentuh kedua sisi *mold roller*. Daerah sekitar node 806 adalah daerah dengan radius perpindahan *fillet* yang kecil dan daerah rim awal yang menyentuh *mold roller* bawah.

Tabel 4.7. Nilai Von Mises Node-Node Pilihan Rim 7.50

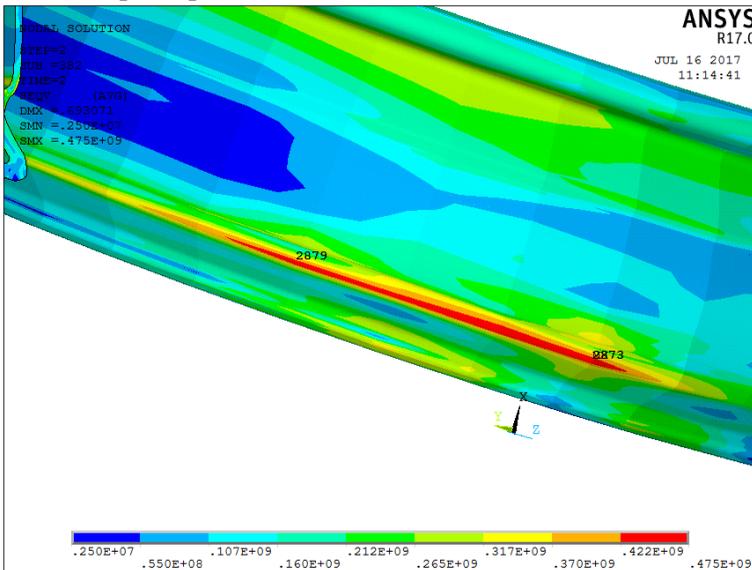
No	Material	Area	No Node	Nilai Tegangan	Sifat tegangan
1	7.50 lurus	Depan Rim	806	356 Mpa	Terpusat dan pendek
2	7.50 lurus	Depan Rim	1100	322 Mpa	Terpusat dan pendek
3	7.50 lurus	Daerah <i>Rolling</i>	3767	244 Mpa	Tersebar
4	7.50 lengkung	Daerah <i>Rolling</i>	2873	475 Mpa	Terpusat dan panjang
5	7.50 lengkung	Daerah <i>Rolling</i>	2879	459 Mpa	Terpusat dan panjang
6	7.50 lengkung	Depan Rim	1853	353 Mpa	Terpusat dan pendek

Tabel diatas menunjukkan perbandingan nilai tegangan rim 7.50 lengkung & 7.50 lurus pada saat proses setengah penuh *roll*. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa sifat persebaran tegangan 7.50 lurus lebih baik dengan alasan:



BAB IV ANALISIS DATA

- Rim 7.50 lurus memiliki nilai konsentrasi tegangan lebih rendah relatif terhadap rim 7.50 lengkung
- Rim 7.50 lurus tidak memiliki tegangan terpusat yang area cakupan panjang seperti pada rim 7.50 lengkung
- Rim 7.50 lengkung tidak memiliki konsentrasi tegangan terpusat pada daerah *rolling*.



Gambar 4.38. Garis Konsentrasi Tegangan Node 2873-2870 Rim 7.50 Lengkung

4.4. Proses Putaran Penuh *Roll*

4.4.1. Proses Putaran Penuh *Roll* pada Rim 6.00 lengkung

Proses putaran penuh *roll* pada rim 6.00 lengkung merupakan kelanjutan dari proses setengah penuh putaran *roll*. Pada tahap ini nilai tegangan pada daerah yang terdampak *roll* mengalami penurunan, dengan nilai tertinggi 442 Mpa pada node 4199 telah turun menjadi 364. Node 2542 dan 2543 yang pada putaran sebelumnya merupakan tegangan paling tinggi, telah



BAB IV ANALISIS DATA

mengalami penurunan pada nilai 292 Mpa. Tegangan daerah terdampak roll membentuk garis lurus yang panjang dengan trend tegangan paling besar di dekat *roll* dan kecil di daerah yang jauh terhadap *roll*.

Daerah luasan paling depan material menunjukkan adanya beberapa titik konsentrasi tegangan sisa dari proses pembentukan saat proses *pressing*. Nilai tegangan von mises paling tinggi pada daerah luasan depan ditunjukkan oleh node number 4199 dengan nilai tegangan 364 Mpa. Daerah sekitar node 4199 merupakan daerah yang pertama kali menyentuh *mold roller*. Daerah node 4199 mengalami deformasi plastis yang besar untuk membentuk material cekung menjadi lurus pada awal proses *pressing*.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pada akhir proses putaran penuh rim roll 6.00 lengkung adalah:

- a. Area depan memiliki sebaran tegangan yang kecil merata, disertai beberapa titik konsentrasi tegangan pada daerah *fillet*. Nilai tegangan paling besar pada daerah tersebut adalah 364 Mpa.
- b. Terdapat garis kecil memanjang yang memiliki nilai tegangan tinggi dengan *range* nilai 442-263 Mpa.

Hasil dari uraian diatas dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.8. Nilai Tegangan Von Mises pada Node –Node rim 6.00 Lengkung Saat Putaran Penuh *Roll*

No	Material	Area	No Node	Nilai Tegangan	Sifat tegangan
1	600 Lengkung	Daerah <i>rolling</i>	7552	442 Mpa	terpusat dan memanjang
2	600 Lengkung	Lepas <i>rolling</i>	2543	292 Mpa	Terpusat dan memanjang
3	600 Lengkung	Lepas <i>rolling</i>	2542	263 Mpa	Terpusat dan memanjang
4	600 Lengkung	Depan Rim	4199	364 Mpa	Terpusat dan Pendek
5	600 Lengkung	Depan Rim	7533	248 Mpa	Terpusat dan Pendek



BAB IV ANALISIS DATA

4.4.2. Proses Putaran Penuh *Roll* pada Rim 6.00 Lurus

Proses putaran penuh *roll* pada rim 6.00 lurus merupakan kelanjutan dari proses setengah penuh putaran *roll*. Pada tahap ini tegangan tertinggi hasil pengerolan masih pada daerah node 450. Tegangan maksimum node 450 mengalami penurunan dari 411 Mpa pada saat putaran *roll* setengah penuh, menjadi 366 Mpa pada saat putaran *roll* penuh. Daerah sekitar node 450 adalah luasan yang bersentuhan dengan *roll* bawah paling awal ketika proses *pressing* terjadi. Tegangan pada daerah ini bersifat terpusat dan pendek.

Pada daerah terdampak *roll* tegangan yang diberikan bernilai maksimum 306 Mpa dan bersifat menyebar, setelah melewati daerah terdampak *roll*, Sebaran tegangan berkisar pada nilai 165-240 Mpa.

Tabel 4.9. Nilai Tegangan Von Mises pada Node –Node Rim 6.00 Lurus Saat Putaran Penuh *roll*

No	Material	Area	No Node	Nilai Tegangan	Sifat tegangan
1	6.00 lurus	Area depan	450	366	Terpusat dan pendek
2	6.00 lurus	Area depan	294	308	Terpusat dan pendek
3	6.00 lurus	Area depan	294	306	Terpusat dan pendek
4	6.00 lurus	Daerah <i>Roll</i>	5661	294	Menyebar
5	6.00 lurus	Lepas <i>Roll</i>	4889	190	Menyebar

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pada akhir proses putaran penuh *roll* rim 6.00 lurus adalah :

- a. Area depan memiliki sebaran tegangan yang kecil merata, disertai beberapa titik konsentrasi tegangan pada daerah *fillet*. Nilai tegangan paling besar pada daerah tersebut



adalah 366 Mpa pada node 450. Tegangan tersebut merupakan tegangan terbesar pada proses pengerolan rim 6.00 lurus.

- b. Pada daerah terdampak *roll* nilai tegangan tertinggi sebesar 306 Mpa dan sifatnya menyebar, setelah melewati daerah terdampak *roll*, nilai tegangan berkisar 165-240 Mpa.

4.4.3. Proses Putaran Penuh *Roll* pada Rim 7.50 Lurus

Proses putaran penuh *roll* pada rim 7.50 lurus merupakan kelanjutan dari proses setengah penuh putaran *roll*. Pada tahap ini tegangan tertinggi hasil pengerolan masih pada daerah node 806. Tegangan maksimum node 806 mengalami penurunan dari 356 Mpa pada saat putaran *roll* setengah penuh menjadi 341 Mpa pada saat putaran *roll* penuh. Daerah sekitar node 806 adalah luasan yang bersentuhan dengan *roll* bawah paling awal ketika proses *pressing* terjadi. Tegangan pada daerah ini bersifat terpusat dan pendek.

Pada daerah terdampak *roll* tegangan yang diberikan bernilai maksimum 314 Mpa dan bersifat menyebar, setelah melewati daerah terdampak *roll*, Sebaran tegangan berkisar pada nilai 160-220 Mpa.



BAB IV ANALISIS DATA

Tabel 4.10. Nilai Tegangan Von Mises pada Node –Node Rim 7.50 Lurus Saat Putaran Penuh *Roll*

No	Material	Area	No Node	Nilai Tegangan	Sifat tegangan
1	750 lurus	Area depan	806	341	Terpusat dan pendek
2	750 lurus	Area depan	1028	326	Terpusat dan pendek
3	750 lurus	Area depan	10864	272	Terpusat dan pendek
4	750 lurus	Daerah <i>Roll</i>	6345	315	Menyebarkan
5	750 lurus	Lepas <i>Roll</i>	6174	176	Menyebarkan

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pada akhir proses putaran penuh *roll* rim 7.50 lurus adalah:

- Area depan memiliki sebaran tegangan yang kecil merata, disertai beberapa titik konsentrasi tegangan pada daerah *fillet*. Nilai tegangan paling besar pada daerah tersebut adalah 341 Mpa pada node 806. Tegangan tersebut merupakan tegangan terbesar pada proses pengerolan rim 7.50 lurus.
- Pada daerah terdampak *roll* nilai tegangan tertinggi sebesar 315 Mpa dan sifatnya menyebarkan, setelah melewati daerah terdampak *roll*, nilai tegangan berkisar 176-250 Mpa.

4.4.4. Proses Putaran Penuh *Roll* pada Rim 7.50 lengkung

Proses putaran penuh *roll* pada rim 7.50 lengkung merupakan kelanjutan dari proses setengah penuh putaran *roll*. Pada tahap ini nilai tegangan pada daerah yang terdampak *roll* relative sama dengan nilai tertinggi 478 Mpa pada node 2849. Node 2873 dan 2876 yang pada putaran sebelumnya merupakan tegangan paling tinggi, telah mengalami penurunan pada nilai 316 Mpa. Tegangan daerah terdampak *roll* membentuk garis lurus yang



BAB IV ANALISIS DATA

panjang dengan trend tegangan paling besar di dekat roll dan kecil di daerah yang jauh terhadap roll.

Daerah luasan paling depan material menunjukkan adanya beberapa titik konsentrasi tegangan sisa dari proses pembentukan saat proses *pressing*. Nilai tegangan von mises paling tinggi pada daerah luasan depan ditunjukkan oleh node number 1853 dengan nilai tegangan 354 Mpa. Daerah sekitar node 1853 merupakan daerah yang pertama kali menyentuh *mold roller*. Daerah node 1853 mengalami deformasi plastis yang besar untuk membentuk material cekung menjadi lurus pada awal proses *pressing*.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pada akhir proses putaran penuh rim *roll 7.50* lengkung adalah:

- c. Area depan memiliki sebaran tegangan yang kecil merata, disertai beberapa titik konsentrasi tegangan pada daerah *fillet*. Nilai tegangan paling besar pada daerah tersebut adalah 354 Mpa.
- d. Terdapat garis kecil memanjang yang memiliki nilai tegangan tinggi dengan *range* nilai 478-291 Mpa.

Hasil dari uraian diatas dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Nilai Tegangan Von Mises pada Node –Node Rim 7.50 Lengkung Saat Putaran Penuh *Roll*

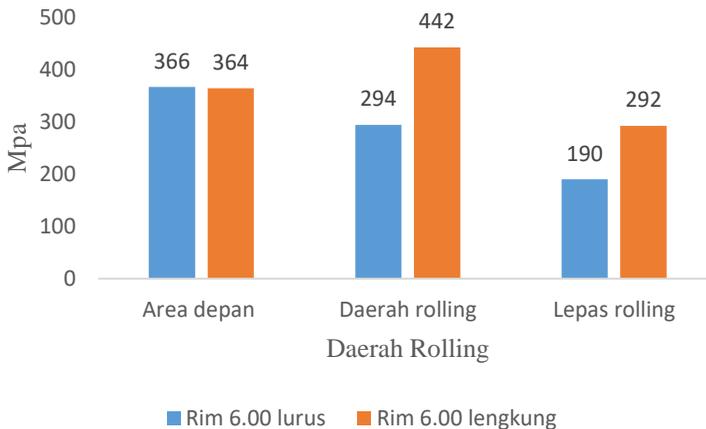
No	Material	Area	No Node	Nilai Tegangan	Sifat tegangan
1	7.50 lengkung	Daerah <i>rolling</i>	2849	478 Mpa	terpusat dan memanjang
2	7.50 Lengkung	Lepas <i>rolling</i>	2873	316 Mpa	Terpusat dan memanjang
3	7.50 Lengkung	Lepas <i>rolling</i>	2876	291Mpa	Terpusat dan memanjang
4	7.50 Lengkung	Depan Rim	1853	354 Mpa	Terpusat dan Pendek
5	7.50 Lengkung	Depan Rim	1851	349 Mpa	Terpusat dan Pendek



BAB IV ANALISIS DATA

4.4.5. Perbandingan Proses Putaran Penuh *Roll* pada rim 6.00 Lurus & 6.00 Lengkung

Nilai tegangan proses pengerolan pada putaran penuh *roll* untuk material rim 6.00 dipilih dan nilainya di bandingkan dan dibuat grafik batang.



Gambar 4.39. Perbandingan Tegangan Von Mises Rim 6.00 Akhir Pengerolan

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan rim 6.00 lurus pada proses akhir pengerolan cenderung lebih kecil pada beberapa titik perbandingan.

Pada daerah luasan depan, tegangan rim 6.00 lengkung memiliki nilai tegangan tertinggi bernilai 364 Mpa, daerah tersebut merupakan daerah awal bersentuhan dengan *roll* bawah. Rim 6.00 lurus memiliki nilai tegangan tertinggi 366 Mpa, daerah tersebut juga merupakan daerah awal bersentuhan dengan *roll* bawah. Kedua jenis rim memiliki tegangan tertinggi pada daerah bergeometri *fillet*. Material rim 6.00 lurus memiliki nilai tegangan tertinggi akhir proses pada daerah luasan depan.

Daerah terdampak proses *rolling* merupakan daerah yang memiliki nilai tegangan tertinggi bagi rim 6.00 lengkung.



BAB IV ANALISIS DATA

Tegangan pada daerah ini memiliki nilai tegangan tertinggi sebesar 442 Mpa pada akhir proses putaran penuh *roll*. Tegangan tersebut bersifat terpusat dan memanjang pada sisi bagian rim. Tegangan ini terbentuk karena proses perpindahan tumpuan rim pada *roll* atas pada awal proses pengerolan. Material rim 6.00 lurus memiliki nilai tegangan tertinggi pada daerah terdampak proses rolling adalah sebesar 294 Mpa. Tegangan ini bersifat luas dan tersebar.

Daerah lepas *rolling* merupakan daerah penurunan tegangan bagi kedua jenis geometri rim. Penurunan tegangan terjadi karena material sudah tidak lagi mengalami tekanan dari *roll* atas maupun bawah. Sisi rim 6.00 lengkung yang tadinya memiliki tegangan maksimum di pusat pengerolan sebesar 442 Mpa, secara perlahan mengalami penurunan tegangan hingga bernilai 292 Mpa. Apabila diperhatikan dengan jelas, terdapat konsentrasi tegangan yang lurus dan memanjang dari daerah terdampak *rolling* menuju daerah lepas rolling pada material rim 6.00 lengkung. Pada material rim 6.00 lurus secara umum tegangan menurun hingga nilai 190 Mpa.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan pengerolan rim 6.00 lurus memiliki kondisi proses pengerolan yang lebih baik daripada rim 6.00 lengkung.

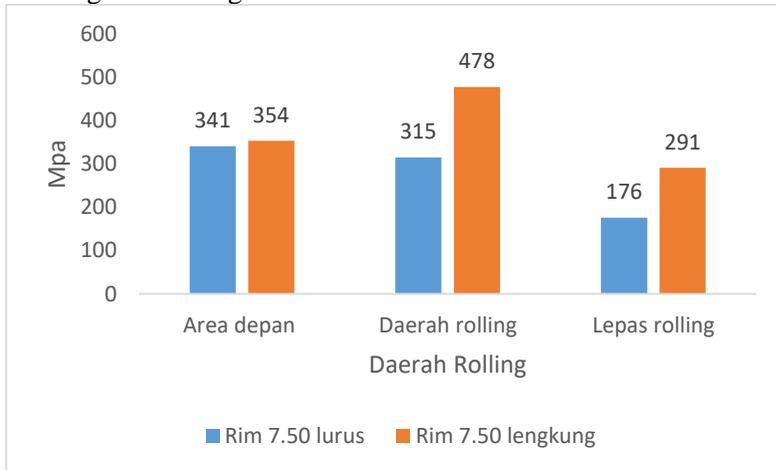
Konsentrasi tegangan yang jumlah dan nilainya lebih kecil akan memberikan dampak yang baik bagi sifat mekanik material, terutama sifat *fatigue strength*. Konsentrasi tegangan banyak terjadi di daerah bergeometri *fillet*. Dalam kebanyakan kasus, memilih untuk meningkatkan radius perubahan geometri fillet mungkin tidak dikehendaki dikarenakan pembatasan ruang desain atau bersampingan dengan elemen mesin lainnya. Terkadang keterbatasan ini dapat menyebabkan berkurangnya *fatigue strength* dari material dikarenakan perbedaan arah tegangan fatigue dengan daerah konsentrasi tegangan (Fo Sonmet, 2008).



BAB IV ANALISIS DATA

4.4.6. Perbandingan Proses Putaran Penuh *Roll* pada Rim 7.50 Lurus & 7.50 Lengkung

Nilai tegangan proses pengerolan pada putaran penuh *roll* untuk material rim 7.50 dipilih dan nilainya di bandingkan dan dibuat grafik batang.



Gambar 4.40. Perbandingan Tegangan Von Mises Rim 7.50 Akhir Pengerolan

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan rim 7.50 lurus pada proses akhir pengerolan cenderung lebih kecil pada semua titik perbandingan.

Pada daerah luasan depan, tegangan rim 7.50 lengkung memiliki nilai tegangan tertinggi bernilai 354 Mpa, daerah tersebut merupakan daerah awal bersentuhan dengan *roll* bawah. Rim 7.50 lurus memiliki nilai tegangan tertinggi 341 Mpa, daerah tersebut juga merupakan daerah awal bersentuhan dengan *roll* bawah. Kedua jenis rim memiliki tegangan tertinggi pada daerah bergeometri *fillet*. Material rim 7.50 lurus memiliki nilai tegangan tertinggi akhir proses pada daerah luasan depan.

Daerah terdampak proses *rolling* merupakan daerah yang memiliki nilai tegangan tertinggi bagi rim 7.50 lengkung.



BAB IV ANALISIS DATA

Tegangan pada daerah ini memiliki nilai tegangan tertinggi sebesar 478 Mpa pada akhir proses putaran penuh *roll*. Tegangan tersebut bersifat terpusat dan memanjang pada sisi bagian rim. Tegangan ini terbentuk karena proses perpindahan tumpuan rim pada *roll* atas pada awal proses pengerolan. Material rim 7.50 lurus memiliki nilai tegangan tertinggi pada daerah terdampak proses rolling adalah sebesar 315 Mpa. Tegangan ini bersifat luas dan tersebar.

Daerah lepas *rolling* merupakan daerah penurunan tegangan bagi kedua jenis geometri rim. Penurunan tegangan terjadi karena material sudah tidak lagi mengalami tekanan dari *roll* atas maupun bawah. Sisi rim 7.50 lengkung yang tadinya memiliki tegangan maksimum di pusat pengerolan sebesar 452 Mpa, secara perlahan mengalami penurunan tegangan hingga bernilai 291 Mpa. Apabila diperhatikan dengan jelas, terdapat konsentrasi tegangan yang lurus dan memanjang dari daerah terdampak *rolling* menuju daerah lepas rolling pada material rim 7.50 lengkung. Pada material rim 6.00 lurus secara umum tegangan menurun hingga nilai 176 Mpa.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan pengerolan rim 7.50 lurus memiliki kondisi proses pengerolan yang lebih baik daripada rim 7.50 lengkung.

Konsentrasi tegangan yang jumlah dan nilainya lebih kecil akan memberikan dampak yang baik bagi sifat mekanik material, terutama sifat *fatigue strength*. Konsentrasi tegangan banyak terjadi di daerah bergeometri *fillet*. Dalam kebanyakan kasus, memilih untuk meningkatkan radius perubahan geometri fillet mungkin tidak dikehendaki dikarenakan pembatasan ruang desain atau bersampingan dengan elemen mesin lainnya. Terkadang keterbatasan ini dapat menyebabkan berkurangnya *fatigue strength* dari material dikarenakan perbedaan arah tegangan fatigue dengan daerah konsentrasi tegangan (Fo Sonmet, 2008).



BAB IV ANALISIS DATA

4.5. Perbandingan Diameter Rim Model dengan Kondisi Aktual

Pada pemodelan ini diasumsikan *roll* material depan dan belakang diposisikan sejajar . Pada kondisi aktual *roll* belakang memiliki ketinggian yang lebih tinggi daripada *roll* depan. Penentuan ketinggian ini dilakukan dengan metode *trial* dan nilainya terkadang berubah tergantung kualitas *supply* bahan ,sehingga tidak ada standard khusus untuk menentukan ketinggian tersebut. Perbedaan diameter rim 6.00 dan 7.50 pada model akan dihitung dan di bandingkan dengan diameter bentukan kondisi aktual.



Gambar 4.41. Pengondisian *Roll* Belakang yang Langsung Lebih Tinggi dari *Roll* Depan

Untuk menghitung diameter yang terbentuk pada rim, dapat dilakukan dengan menghitung jarak perpindahan rim pada ujung akhir proses pengerolan dengan daerah terkontak *roll* bawah (jarak *uy*).

**Tabel. 4.12.** Perbandingan Diameter Rim

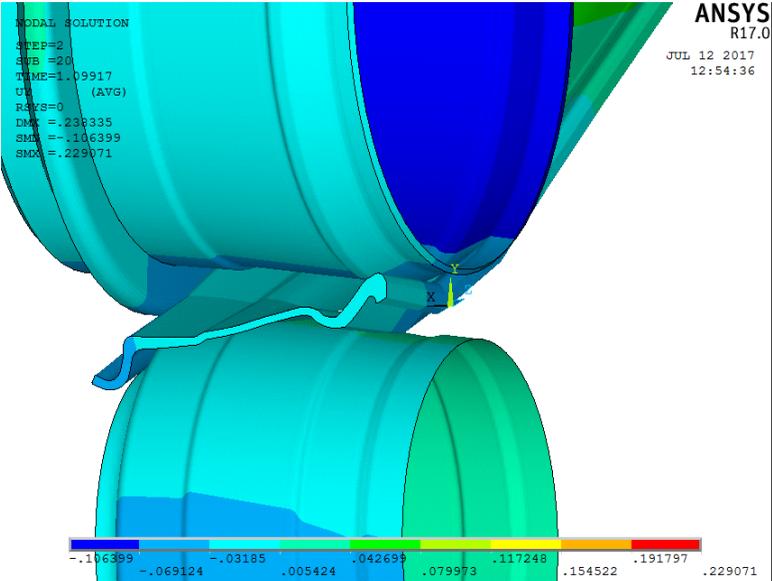
No	Material	Jarak Pressing	L (m)	Diameter model (m)	Diameter asli (m)	Nilai error
1	Rim 6.00 Lengkung	5cm	1.275	0.51	0.405	26%
2	Rim 6.00 Lurus	5cm	1.275	0.522	0.405	28%
3	Rim 7.50 Lengkung	5cm	1.623	0.5072	0.508	-1%
4	Rim 7.50 Lurus	5cm	1.623	0.801	0.508	57%

Data diatas merupakan data bentukkan diameter model ketika roller depan sejajar dengan *roll* belakang. Rim 6.00 lengkung memiliki nilai error sebesar 26%% dan rim 6.00 lurus memiliki nilai *error* 28%%. Rim 7.50 lengkung dengan nilai error -1% dan rim 7.50 lurus dengan nilai *error* 57%

Perbedaan nilai *error* rim lurus yang lebih besar dibandingkan dengan rim lengkung diakibat perbedaan daerah kontak *roll* material rim lurus dan lengkung Perbedaan ini dapat terlihat pada hasil simulasi.

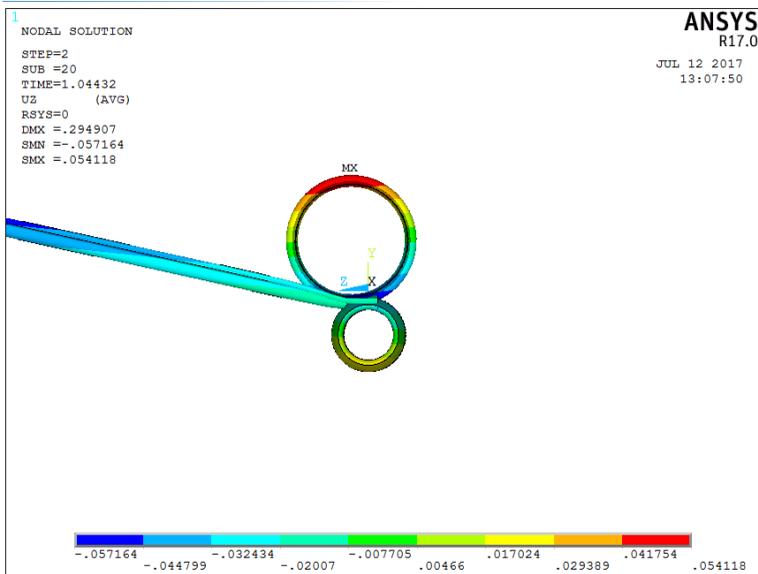
Pada proses pengerolan material rim lurus, seluruh roll atas dan bawah bersentuhan dengan permukaan material rim lurus baik tipe 6.00 maupun 7.50. Ketika *roll* diputar, material rim lurus akan mengalami *sliding* terlebih dahulu sebelum membentuk lekungan diameter.

Pada material rim lengkung, hanya luasan sisi bawah yang bersentuhan dengan *roll*, sedangkan luasan bagian atas tertumpu pada salah satu sisi rim. Ketika *roll* diputar, sisi luasan rim bagian atas akan langsung tertekuk tanpa mengalami *sliding*, Penekukan tersebut yang menyebabkan nilai error material rim lengkung lebih kecil daripada riim lurus.



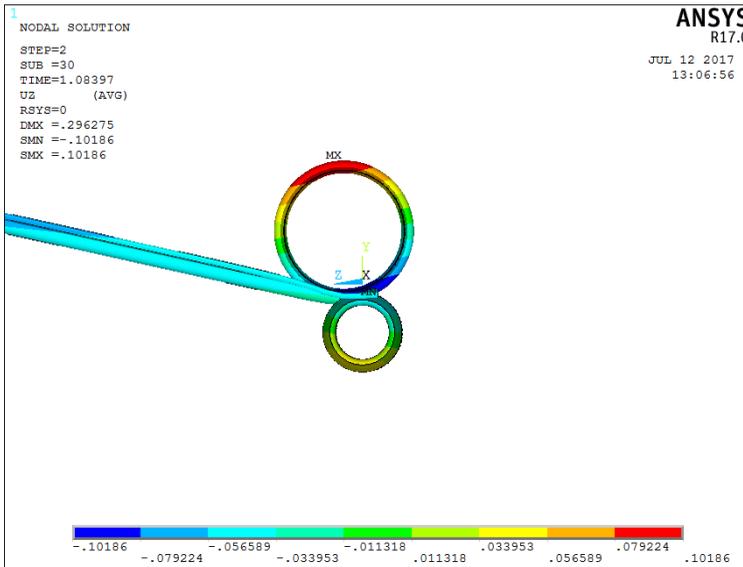
Gambar 4.42. Rim 6.00 Lengkung Mengalami Penekukan Langsung Tanpa Adanya *Sliding*

BAB IV ANALISIS DATA



Gambar 4.43. Rim 7.50 Lurus Sebelum *Sliding*

Pada Gambar 4.43. diplotkan nilai jarak rim 7.50 lurus perpindahan terhadap sumbu z. Pada detik 1.044 jarak perpindahan material rim masih bernilai 0.02 meter relatif terhadap sumbu z negatif. Pada detik 1.044 material rim tepat akan bergerak.



Gambar 4.44. Rim 7.50 Lurus Setelah *Sliding*

Pada gambar diatas material rim 7.50 lurus telah melakukan sliding terhadap arah sumbu dengan nilai pergeseran rim sekitar 0.5 meter relatif terhadap sumbu z negatif.

Proses sliding tersebut yang menyebabkan error diameter bentukkan rim lurus besar daripada rim lengkung.

4.5. Proses Penekukan Ujung- Ujung Rim dengan *Expanding Machine*

Pada kondisi aktual meskipun pemosisian roll belakang dapat membentuk rim sesuai dengan diameter yang di inginka, namun ujung-ujung kedua area depan dan belakang tidak langsung bertemu. Kedua ujung sisi rim harus bertemu untuk memudahkan proses pengelasan rim. Oleh karena itu proses bantuan dari mesin *expanding machine* dilakukan.



Gambar 4.45. Proses Penyatuan Ujung-ujung Rim Sebelum Proses Pengelasan Dilakukan.

Proses kerja dari *expanding machine* adalah kedua ujung rim ditekan sehingga masing – masing ujung saling berhadapan. Proses tersebut berada satu *line* dengan proses pengerolan pelat rim.

Dari uraian diatas , untuk membentuk diameter rim yang sesuai. Kontrol yang biasa dilakukan pada kondisi aktual adalah :

- a. Pengaturan ketinggian *roll* belakang, *roll* belakang merupakan komponen utama yang berperan dalam pembentukan diameter rim yang sesuai
- b. *Expanding machine* digunakan untuk menyatukan ujung ujung luasan rim agar menjadi lingkaran yang sempurna. Setelah proses ini pengelasan ujung-ujung rim dilakukan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Material rim 7.50 lurus memiliki nilai persebaran tegangan paling baik, dengan nilai konsentrasi tegangan tertinggi adalah 341 Mpa yang terletak pada luasan depan rim
2. Material rim 7.50 lurus memiliki error pembentukkan diameter paling tinggi yaitu sebesar 57%, dikarenakan proses sliding pada awal proses *rolling*.
3. Material Rm 7.50 lengkung memiliki tingkat *error* paling rendah sebesar -1%
4. Tegangan proses pembentukkan rim lengkung relatif lebih tinggi dibandingkan tegangan proses pembentukkan rim lurus

5.2 Saran

- Pada model ini hanya disimulasikan pengerolan dengan *setting roll* belakang yang sejajar dengan *roll* depan, yang menyebabkan rim tidak mengalami kontak dengan *roll* belakang pada saat proses pembentukkan
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh ketinggian *roll* belakang terhadap tegangan akhir proses dan bentuk diameter akhir proses



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Fang,G., Gao, W.R., Zhang, X.D.,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.
- Lu,Ping., Zhang,Y.K., Ma, Feng, 2015, “Finite Element Analysis on Multi-Step Rolling Process and Controlling Quality Defect for Steel Wheel Rim”, **Anvances in Mechanical Engineering** 7, 7:1-11.
- Chodavarapu,S., 2004, “Finite Element Analysis And Reliability Study of Multi-Piece Rims, *Thesis*, Graduate School of Kentucky University.
- 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.
- Sonmez,F.O.,2009,”Optimal Shape Design of Shoulder Fillet for Plat and Round Bars Under Various Loadings”,**IMechE** 223, C:1741-1753.
- Santos,A.,Guzman,R.,Ramirez,Z.,Cardenas,C.,2016.”Simulation of Stress Concentration Factors in Combined Discontinuities on Flat Plates”, **Workshop on Processing Physic-Chemistry Andvanced**,Conference Series 743(2016)012014, doi : 10.1088/1742-6596/743/1/012014.
- G,Totten.,Howes,M.,Inoue,T.,2002, **Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel**, Ohion : ASM International.
- Callister, W,D., 2007, **The Seveth Edition of Materials Science and Engineering An Introduction**, New York : Jhon Willey & Sons.

- 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 Procee”, **Advanced Materials Research** 160-162: 809-814.
- Hua, M.,Baines,K., Cole, I.M., 1998, “Continuous Four-Roll Plate Bending : a Production Process for The Manufacture of Single Seamed Tubes of Large and Medium Diameters”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture Design, Research and Aplication** 39, 905-935.
- Hua,M., I.M. Cole., Baines, K. Raou, K.P., 1997, “ A Formulation for Determining The Single-Pass Mechanics of The Continous Four-Roll Thin Plate Bending Process” , **Journal of Materials Processing Technology** 67, 189-194
- Hua,M., Sansome,D.H., Rao, K.P., Baines, K., “Continous Four-Roll Plate Bending Process : Its Bending Mechanism And Influential Parameters”, **Journal of Materials Processing Technology** 45, 181-186.
- Reddy, J.N. 1993, **An Introduction to Finite Element Method**, New York ; McGraw-Hill,Inc.
- Liu,Y., 2003 , **Introduction to Finite Element Method**, Cincinnati ; Universtity of Cincinnati

LAMPIRAN

1. Perbandingan Tresca Von Mises Pada Pembebanan Akhir

No	Material	Node Maximum	Von Mises (Mpa)	Tresca (Mpa)
1	7.50 Lengkung	2849	478	550
2	7.50 Lurus	806	342	390
3	6.00 Lengkung	7552	442	503
4	6.00 Lurus	450	367	421

Pada akhir proses nilai putaran nilai tresca lebih besar daripada von mises , tapi kriteria tersebut masih di bawah UTS material

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Brebes, 23 Januari 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Fatma, SD Assalam Bandung, kemudian SMP Negeri 5 Bandung dan SMA Negeri 3 Bandung. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 terdaftar dengan NRP 2713100128. Di Teknik Material dan Metalurgi penulis memilih bidang Metalurgi Manufaktur dengan fokus dalam simulasi dan analisa numerik. Penulis sejak kuliah aktif mengikuti organisasi di JMMI ITS sebagai Staff Departemen Keilmuan, Staff ahli Humas LDJ Ash_ Habul Kahfi. Penulis semasa kuliah mendalami hobi belajar bahasa jepang. Penulis dapat dihubungi di 082219194599 atau email ke asad.box16@gmail.com

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)