

**ANALISIS KERUSAKAN HELM STANDAR SII 1651.85
AKIBAT UJI PENETRASI MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

YOHANES ARIFANTO

NIM. 0210623070 – 62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

MALANG

2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah menganugrahkan kasih dan karunianya kepada penyusun, sehingga menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan terutama kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.,CSE selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini..
3. Bapak Dr. Ir. Pratikto MMT. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konstruksi.
4. Bapak Ir. Winarno Yahdhi Atmodjo, MT selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Puguh Andrianto dan Ibu Martinah selaku orang tuaku, kakakku Kristina andriani dan Evanglin kristiana atas cinta dan kasih sayang, doa dan pengorbanan, serta dukungan yang tak ternilai harganya untukku, Kalian adalah yang terbaik.
6. Bapak/Ibu Dosen Teknik Mesin yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan dan seluruh karyawan jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam pengurusan adminitrasi dan bantuan lainnya..
7. Teman-teman mesin 2002 yang secara langsung dan tidak langsung telah membantu dalam memberikan kritik dan saran untuk kelancaran penelitian maupun penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan dalam kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis mohon maaf atas segala kekurangan yang ada, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 23 juli 2009

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI ii
DAFTAR TABEL iii
DAFTAR GAMBAR iv
DAFTAR LAMPIRAN v
RINGKASAN vii

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Mengenai Pengujian Helm 4
2.2. Dasar Teori 5
 2.2.1 Pengukuran Kecepatan Jatuh Bebas 5
 2.2.2 Energi Penetrasi 6
 2.2.3 Analisa Tumbukan 7
 2.2.4 Menentukan titik berat 8
2.3. Standart Helm 9
 2.3.1. Bagian Bagian Helm 9
 2.3.2. Uji Ketahanan Penetrasi Kekuatan Helm 10
 2.3.3. Uji Standart Helm 10
 2.3.4. Syarat Mutu Menurut Standart Industri Indonesia (SII) 10
 2.3.5. Syarat Mutu Menurut *US Department of Transportation (DOT)* 12
 2.3.6. Syarat Mutu Menurut Snell Memorial Foundation 13
2.4. Hubungan Tegangan Regangan Elastis 15
2.5. Hubungan Tegangan Regangan Plastis 18
2.6. Tegangan dan Regangan pada Plat 21

2.7.	Teori Kegagalan	24
2.8.	Konsep Metode Elemen Hingga	25
2.8.1.	Analisis Menggunakan Sofwere yang Berbasais Metode Elemen Hingga	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Metode Penelitian	27
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3.	Tahap-Tahap Simulasi	27
3.4.	Langkah-Langkah Simulasi Dengan <i>Ansys 10.0</i>	32
3.5.	Variabel Bebas	32
3.6.	Variabel Terikat	32
3.7.	Variabel Tetap	32
3.8.	Diagram Alir Penelitian	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Hasil Analisis Metode Elemen Hingga	34
4.2.	Pembahasan	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan	42
5.2.	Saran	42



DAFTAR TABEL

No	Judul	hal
Tabel 4.1.1	Nilai tegangan yang dialami helm dari atas.....	35
Tabel 4.1.2	Nilai tegangan yang dialami helm dari samping.....	35
Tabel 4.1.3	Nilai tegangan yang dialami helm dari belakang.....	35
Tabel 4.2.1	Nilai deformasi maksimum pada helm dari atas.....	39
Tabel 4.2.1	Nilai deformasi maksimum pada helm dari atas.....	39
Tabel 4.2.2	Nilai deformasi maksimum pada helm dari samping.....	39
Tabel 4.2.3	Nilai deformasi maksimum pada helm dari belakang.....	39
Tabel 4.2.4	Tegangan <i>Von Misses</i> pembebanan maksimal.....	40



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Benda Jatuh Bebas	5
Gambar 2.2. Proses Penetrasi Pada Helm	6
Gambar 2.3. Menentukan Titik Berat	8
Gambar 2.4. Helm Standart	9
Gambar 2.5. Ukuran Kepala Uji	11
Gambar 2.6. Sistem Pengujian Ketahanan Penetrasi	12
Gambar 2.7. Uji Helm Metode <i>Penetration Test</i>	13
Gambar 2.8. <i>Penetration Tes</i> Menurut PSDB	14
Gambar 2.9. Variasi Perilaku Plastik	19
Gambar 2.10. Hubungan Tegangan Ekvivalen Dengan Regangan Ekvivalen	19
Gambar 2.11. Tegangan Pada Suatu Elemen Pelat	22
Gambar 2.12. Penampang Pelat Sebelum dan Sesudah Berubah Bentuk	22
Gambar 3.1. Letak Titik Pusat Massa Pada Helm Standart	29
Gambar 3.2. Hasil Pemodelan Helm dan <i>Indentor</i>	29
Gambar 3.3. Bentuk Geometri <i>Thin Shell 163</i>	30
Gambar 3.4. Diskretisasi Elemen Pada Simulasi Tabrak Helm Dari Arah Atas ...	30
Gambar 3.5. Diskretisasi Elemen Pada Simulasi Tabrak Helm Dari Arah Samping	31
Gambar 3.6. Diskretisasi Elemen Pada Simulasi Tabrak Helm Dari Arah Belakang	31
Gambar 4.1. Hasil Simulasi Penetrasi Helm	34
Gambar 4.2. Plot Kontur Deformasi Maksimum Pada Helm Standar Dari Arah Atas	36
Gambar 4.3. Plot Kontur Deformasi Maksimum Pada Helm Standar Dari Arah Samping	37
Gambar 4.4. Plot Kontur Deformasi Maksimum Pada Helm Standar Dari Arah Belakang	38

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1.	Data material helm.
Lampiran 2.	Tabel deformasi pada helm standar dari arah atas.
Lampiran 3.	Tabel deformasi pada helm standar dari arah samping.
Lampiran 4.	Tabel deformasi pada helm standar dari arah belakang.
Lampiran 5.	Tabel tegangan pada helm standar dari arah atas.
Lampiran 6.	Tabel tegangan pada helm standar dari arah samping.
Lampiran 7.	Tabel tegangan pada helm standar dari arah belakang.
Lampiran 8.	Tabel Tegangan von misses arah atas.
Lampiran 9	Tabel Tegangan von misses arah samping.
Lampiran 10	Tabel Tegangan von misses arah belakang.



RINGKASAN

Yohanes Arifianto, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, July 2009, **Analisis Kerusakan Helm Standar SII 1651.85 Akibat Uji Penetrasi Menggunakan Metode Elemen Hingga**, Dosen Pembimbing **Ir. Winarno Yahdi Atmadja MT dan Ir Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE.**

Pemakaian helm standar disaat mengendarai sepeda motor sebenarnya merupakan langkah antisipasi jika terjadi kecelakaan. Dengan memakai helm standar, resiko terjadinya benturan langsung pada bagian kepala akan semakin kecil. Manfaat helm standar ternyata kurang disadari oleh masyarakat. Karena itu kampanye simpatik terus dilakukan oleh pihak kepolisian termasuk pembagian helm secara Cuma-Cuma kepada pengendara sepeda motor untuk menenangkan pentingnya helm standar.

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada helm standar ketika terjadi tabrakan, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi berdasarkan pengujian helm menurut Standar SII 1651.85. Data input yang dimasukkan yaitu variasi dari Penetrasi dilakukan oleh indentor dari arah atas, samping, belakang dengan berat indentor 2kg sedangkan output yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa nilai distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada helm standar.

Dari hasil penelitian ini didapat hasil penelitian dengan metode simulasi diketahui bahwa tegangan *Von Mises* terbesar dari arah atas terjadi pada node 8 yaitu $0.64267 \cdot 10^{-3}$ MPa, dari arah samping pada node 47 yaitu $0.10935 \cdot 10^{-3}$ MPa. Dari arah belakang terjadi pada node 20 yaitu $0.81814 \cdot 10^{-3}$ MPa sehingga tidak mengalami deformasi plastis sehingga aman untuk digunakan.

Kata kunci : berat *indentor*, dimensi helm standar, nilai distribusi tegangan dan deformasi.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kendaraan sepeda motor merupakan sarana transportasi yang paling populer di Indonesia. Masyarakat menyukainya karena sepeda motor lebih ekonomis dan cepat sampai di tujuan. Dari data Angkutan Lebaran tahun 2008, jumlah pemudik yang menggunakan sepeda motor pada periode yang sama meningkat sangat tajam 57,68% dari 1.174.105 orang menjadi 1.851.271 orang pada tahun 2008 (www.dephub.go.id). Namun di sisi lain sepeda motor merupakan kendaraan yang rentan terhadap terjadinya kecelakaan. Berdasarkan data yang dikeluarkan Jasa Raharja, pada tahun 2008 ada 36.000 orang meninggal karena kecelakaan lalu lintas, 19.000 di antaranya adalah pemakai sepeda motor. Angka ini diprediksi akan terus meningkat kalau tidak ditanggulangi secara dini (Pikiran Rakyat, Jumat, 24 Nopember 2008). Di antara negara ASEAN, Indonesia masih kurang serius menangani keselamatan jalan yang dibuktikan dengan tingkat fatalitas tinggi pada pengguna sepeda motor. Dari hasil penelitian awal saat kampanye penggunaan helm di Jakarta, menunjukkan data kecelakaan yang memprihatinkan, bahwa 47% kecelakaan melibatkan sepeda motor dan sekitar sepertiga di antaranya menderita luka di kepala.

Akan tingginya kecelakaan sepeda motor salah satu pencegahannya dengan menggunakan perlengkapan kendaraan bermotor antara lain dengan memakai helm yang standar, ada berbagai macam standar helm yang digunakan masing-masing negara seperti SNELL, DOT (Department of Transportation) US, E2205 atau ECE 22-05 European Standard, AS 1698 (1988) Standard Australia, NZS 5430 : 1992 Standard New Zeland, JIS T8133 Standard Jepang dan SII (standar industri Indonesia). Didalam SII ada beberapa pengujian seperti ketahanan benturan, ketahanan penetrasi dan kekuatan helm, kelenturan helm, kekakuan helm, kekuatan sabuk dagu, persyaratan pelindung muka.

Salah satu upaya penting yang harus dilakukan adalah komitmen produsen helm untuk melakukan uji produk helmnya ke badan yang ditunjuk pemerintah yaitu Balai Pengujian Layak jalan dan Sertifikasi Kendaraan Bermotor. Hanya saja dengan

satu Badan yang memiliki fasilitas uji helm, tentunya membuat produsen harus ekstra keras dalam mengakses dan menjamin produknya nanti akan lolos uji. Harapan agar produk helm dapat lolos uji sangat tergantung dari kemampuan perancang helm untuk mengetahui perilaku uji helm yang akan diujikan, sehingga penting untuk diketahui kekuatan helm pada tahapan pra desain. Pada tahapan pra desain membutuhkan analisa yang cepat dan mampu menangani kasus-kasus yang kompleks. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan simulasi komputer yang pada era sekarang telah banyak digunakan secara luas di industri.

Simulasi merupakan metode yang penting dalam penilaian performansi suatu sistem. Dengan simulasi dapat mempermudah seseorang dalam menentukan nilai performansi suatu sistem. Yang perlu dilakukan adalah membuat pemodelan matematik dan geometrik untuk selanjutnya diimplementasikan dalam bahasa pemrograman.

Meskipun simulasi tidak sepenuhnya dapat menggantikan pengujian fisik, akan tetapi dengan simulasi dapat diprediksi kondisi pengujian yang terbaik. Dengan demikian dapat dicegah pembatasan material dan energi dalam merancang pengujian. Dalam tahap operasional sistem, simulasi dapat membantu untuk menemukan kondisi kerja yang optimum.

Dari latar belakang tersebut diatas penulis akan meneliti tentang ketahanan penetrasi helm karena setiap kecelakaan pada sepeda motor ada yang mengalami berbagai macam benturan terhadap benda runcing seperti batu kecil dari bekas perbaikan jalan yang mengakibatkan penetrasi pada helm dengan cara melakukan penelitian tentang stimulasi alat uji penetrasi helm dengan menggunakan komputer, sehingga dapat membantu produsen helm untuk mengetahui secara dini kekuatan produk helmnya.

1.2 Rumusan masalah.

1. Bagaimana kerusakan yang terjadi pada helm standar akibat penetrasi yang dilakukan oleh *indentor*?

1.3 Batasan Masalah.

1. Model yang dipakai adalah helm SII 1651.85.
2. Material yang diasumsikan *homogen* dan *isotropik*.
3. Jenis pengujiannya mengadopsi standar pengujian helm (*helmet drop test*) menurut SII (Standar *Industrial* Indonesia).
4. Penetrasi helm diamati dengan mengukur deformasi yang terjadi.
5. Tidak membahas proses pembuatan helm.
6. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga.
7. Penetrasi dilakukan dari arah atas, samping, belakang.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada helm standar.
2. Untuk memberikan bukti secara ilmiah akan manfaat pra desain helm dengan simulasi komputer bagi produsen helm.

1.5 Manfaat penelitian

1. Mengoptimalkan prosedur pengujian pada helm seperti biaya dan waktu.
2. Menambah pengetahuan peneliti tentang proses pengujian dengan simulasi komputer.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Mengenai Pengujian Helm

Pada saat terjadi tabrakan/ benturan ada tiga besaran yang akan mempengaruhi tingkat kerusakan, yaitu kecepatan, massa, kekuatan bahan. Tabrakan (benturan) yang terjadi pada helm dapat terjadi secara langsung dengan permukaan jalan tanpa ada gaya yang menghambat gerak helm.

Pengujian helm merupakan pengujian yang dilakukan untuk menentukan apakah suatu helm itu mampu melindungi kepala atau tidak ketika terjadi kecelakaan. Pengujian helm berdasarkan standar SII 1651.85 meliputi uji ketahanan benturan, Ketahanan Penetrasi dan kekuatan helm, kelenturan helm, kekakuan helm, Kekuatan sabuk dagu, persyaratan pelindung muka.

Ketahanan Penetrasi (*drop test*) merupakan salah satu dari serangkaian test yang dilakukan dengan menjatuhkan beban berbentuk kerucut terhadap helm dalam kondisi jatuh bebas dari ketinggian tertentu yang mempunyai kekerasan lebih besar dari pada helm, dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar kerusakan yang terjadi pada helm akibat penetrasi. Adanya deformasi yang berlebihan akan menyebabkan cedera pada organ paling penting dari manusia yaitu kepala.

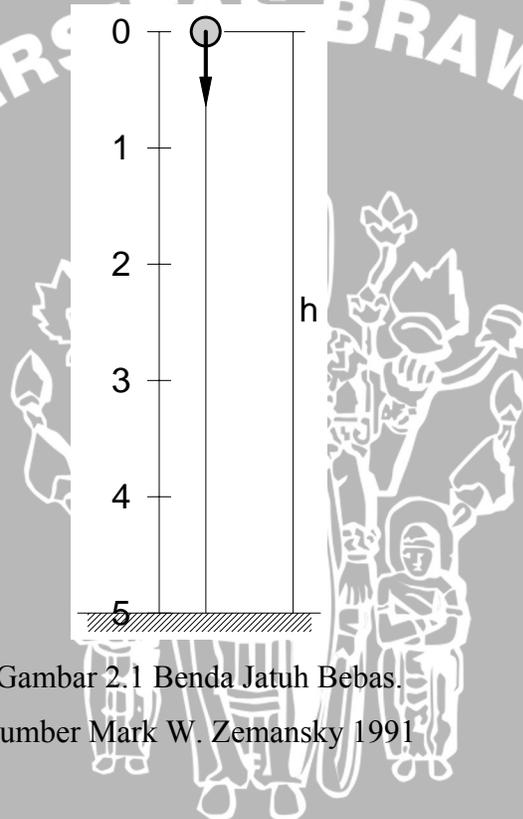
2.2 Dasar Teori.

2.2.1 Pengukuran Kecepatan Jatuh Bebas.

Kecepatan benda jatuh bebas akan mengalami penambahan kecepatan yang disebut percepatan jatuh bebas, sehingga semakin dalam benda itu jatuh, semakin besar kecepatannya. Besarnya percepatan jatuh bebas sama dengan gravitasi (g). Pada gambar 2.1 benda yang dilepaskan dari ketinggian tertentu (h), sehingga jatuh bebas, maka berlaku:

$$y - y_0 = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Mark W. Zemansky 1991



Gambar 2.1 Benda Jatuh Bebas.

Sumber Mark W. Zemansky 1991

Jika $y_0 = 0$, $v_0 = 0$, dan $y = -h$, maka:

$$-h = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$g = \frac{2 \cdot h}{t^2}$$

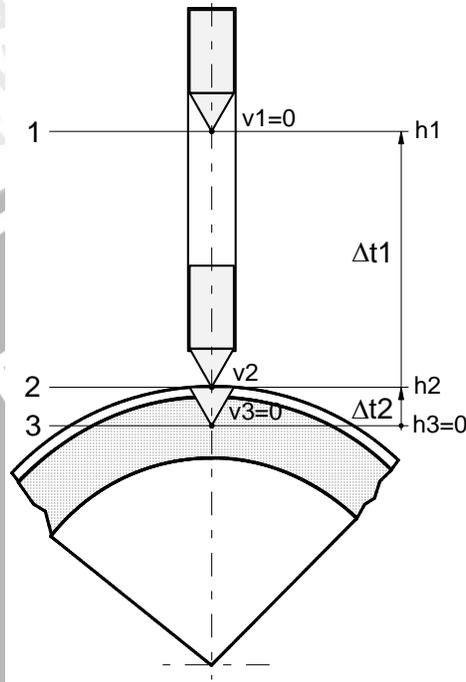
(2.1)

Besarnya percepatan jatuh bebas (g) ini selanjutnya digunakan untuk perhitungan kecepatan jatuh bebas yang besarnya: $v = v_0 - g \cdot t$

Jika $v_0 = 0$, dan v arahnya ke bawah, maka: $v = g \cdot t$

2.2.2 Energi penetrasi.

Pada proses penetrasi pada helm (seperti gambar 2.2), *indenter* dijatuhkan dari ketinggian h_1 (posisi 1). *Indenter* akan mulai melukai permukaan helm (posisi 2) dengan kecepatan v_2 dan berlanjut hingga berhenti (posisi 3, $v_3 = 0$).



Gambar 2.2 Proses penetrasi pada helm

Sumber : Mark W. Zemansky 1991

Perhitungan energi pada saat penetrasi, mengikuti persamaan kekekalan energi:

$$E_{M1} = E_{M2}$$

$$E_{p1} + E_{k1} - W_f = E_{p2} + E_{k2} \quad (2.2)$$

$$m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 - W_f = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$$

dimana:

$m \cdot g \cdot h_1$ = Energi potensial awal (pada ketinggian h_1).

$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2$ = Energi kinetik awal (pada ketinggian h_1) = 0 (karena $v_1 = 0$).

W_f = Energi gesek terhadap pengarah (≈ 0 , suaian sangat longgar).

$m \cdot g \cdot h_2$ = Energi potensial pada saat penetrasi ($h_2 \neq 0$).

$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$ = Energi kinetik pada saat penetrasi.

Dari kondisi tersebut, maka besar energi penetrasi yang menyebabkan luka adalah:

$$E_{\text{penetrasi}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2$$

2.2.3 Analisa tumbukan.

Misalkan benda dijatuhkan maka akan menimbulkan tumbukan, arah gaya dianggap tetap, tumbukan dimulai pada saat t_i dan berakhir pada saat t_f , sebelum dan sesudah tumbukan gayanya sama dengan nol, dari persamaan diatas dapat ditulis bahwa perubahan momentum suatu benda, dp , yang dikenai gaya F dalam selang waktu dt adalah :

$$dp = F dt. \quad (2.3)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan diatas terhadap seluruh waktu tumbukan dapat ditentukan.

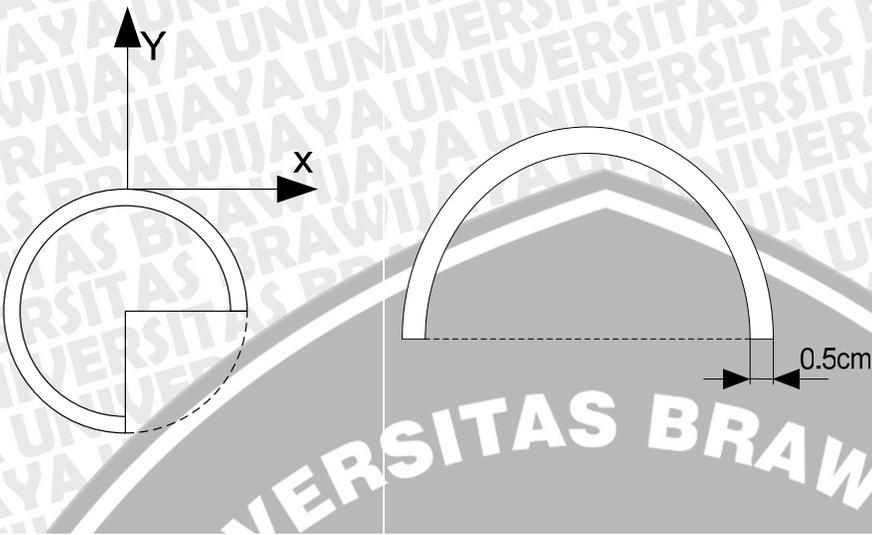
Perubahan momentum benda selama tumbukan yaitu :

$$p_f - p_i = \int_{p_i}^{p_f} dp = \int_{t_i}^{t_f} F dt \quad (2.4)$$

indeks i (= initial = awal) dan f (= final = akhir) masing-masing menyatakan keadaan sebelum dan sesudah tumbukan. Integral gaya terhadap selang waktu bekerjanya gaya disebut impuls gaya, I . jadi perubahan momentum benda yang dikenai gaya impulsif sama dengan impuls gaya tersebut, baik impuls maupun momentum adalah vektor, keduanya mempunyai satuan dimensi yang sama.

2.2.4 Menentukan titik berat .

Untuk mencari letak titik berat total dari helm ditunjukkan pada gambar 2.3 dengan menggunakan rumus sebagai berikut:



Gambar 2.3 Menentukan titik berat.

Posisi titik berat pada sumbu y (\bar{y}).

$$\bar{y} = \frac{y_0 A_0 + y_i A_i}{A_0 + A_i} \quad (2.5)$$

$$y_0 = \frac{4R_0}{3\pi}$$

$$y_i = \frac{4R_i}{3\pi}$$

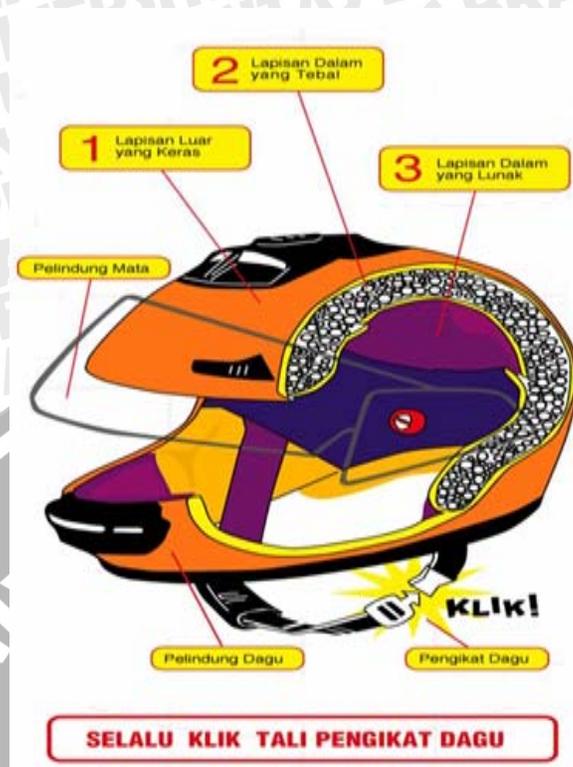
$$A_0 = \frac{1}{2} \pi R_0^2$$

$$A_i = \frac{1}{2} \pi R_i^2$$



2.3 Standar Helm.

2.3.1 Bagian bagian helm:



Gambar 2.4 helm standar
Sumber : www.dephub.go.id

1) Lapisan luar yang keras (*hard outer shell*).

Hard outer shell pada gambar 2.4 bagian 1 lapisan ini pada umumnya terbuat dari bahan *polycarbonate*. Berguna untuk melindungi penetrasi ke kepala dan mengurangi energi impact akibat benturan.

2) Lapisan dalam yang tebal (*inside shell or liner*).

Inside shell or liner, pada gambar 2.4 bagian 2 lapisan ini biasanya terbuat dari *polysterene (resin thermoplastic)* yang dibuat dari *benzena* dan *ethylene* dipolimerisasikan oleh panas, cahaya dan katalis bagian ini mempunyai tebal minimal 10 mm berfungsi meredam atau mengurangi impact dari *hard ousher shell* kebagian kepala yang ditimbulkan pada saat benturan.

3) Lapisan dalam yang lunak (*comfort padding*)

Comfort padding, pada gambar 2.4 bagian 3 lapisan ini terdiri dari kain dan *soft foam* (berbentuk *spongy* dan material ini dalam prosesnya diberi tambahan gas agar

terjadi porositas). Bagian ini yang bersentuhan langsung dengan bagian kepala dan berfungsi untuk menempatkan kepala secara tepat pada rongga helm.

2.3.2 Uji ketahanan penetrasi dan kekuatan helm

Untuk menjamin bahwa sebuah helm mempunyai kemampuan perlindungan terhadap penetrasi serta kenyamanan dalam berkendara, maka helm tersebut harus mempunyai sertifikat pengujian helm. Standart pengujian helm harus mengikuti standar yang berlaku baik secara internasional seperti, JIS, SNELL dan DOT, ataupun nasional yaitu SNI dan SII (Standar Industri Indonesia).

Untuk membuat simulasi tabrakan helm ini, penulis memakai panduan standar industri Indonesia (SII) 1651-85. Dengan mengacu pada standart pengujian SII ini, diharapkan paling tidak bisa mendekati kondisi uji penetrasi yang sebenarnya yang berguna untuk pradesain sebelum helm standar dibuat.

2.3.3 Standar Pengujian Helm

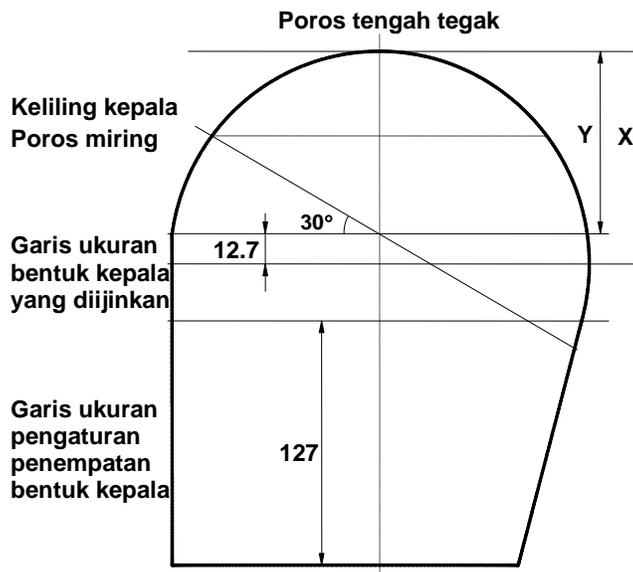
Beberapa standar pengujian, khususnya uji penetrasi helm, yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan alat uji penetrasi helm adalah:

2.3.4 Syarat Mutu Menurut Standar Industri Indonesia (SII)

Apabila helm dilakukan pengujian penetrasi sesuai prosedur yang disyaratkan, maka jarak ujung kruscut *indentor* dari kepala minimum 5 mm. Prosedur pengujian yang disyaratkan adalah:

a. Kepala Uji.

Kepala uji ditunjukkan gambar 2.5 yang disyaratkan menurut Standar Industri Indonesia:



Gambar 2.5 Ukuran Kepala Uji.
 Sumber : www.dephub.go.id

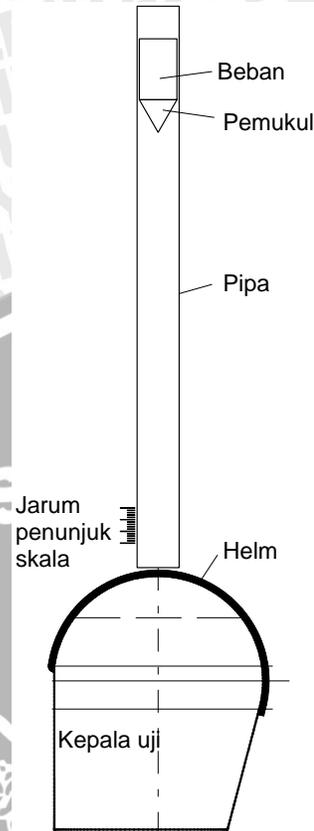
Keterangan:

Besar lingkaran bagian dalam	X	Y
500	114	89.7
550	124	97.5
600	136	107.2
650	144	113.5

b. Sistem Pengujian

Alat uji seperti terlihat pada gambar 2.6. Pemukul dan beban terbuat dari baja dengan dimensi sebagai berikut:

- Berat 2 kg
- Diameter 32 mm
- Jari-jari ujung kerucut 0.5 mm
- Sudut kerucut 60°
- Kekerasan ujung kerucut 45 – 50 HRC



Gambar 2.6 Sistem pengujian ketahanan penetrasi.

Sumber : [Http://www.msfsusa.org](http://www.msfsusa.org)

c. Prosedur pengujian.

Helm dikenakan pada kepala uji. Pemukul dan beban dijatuhkan dari ketinggian 60 cm, dalam daerah radius 6.5 mm dari sumbu vertikal kepala uji. Ukur jarak minimum kerucut pemukul ke kepala uji.

2.3.5 Syarat Mutu Menurut *US Department of Transportation (DOT)*.

Pengujian penetrasi dilakukan dengan menjatuhkan sebuah beban penetrasi (berbentuk pensil besar) dengan masa 6 pound (2.723 kg), 10 ounce (284 g) seperti gerak jatuh bebas dalam sebuah pipa pengarah pada ketinggian 9.84 feet (3 m) di atas permukaan luar dari helm yang diuji. Kepala uji yang digunakan dirancang, terbuat dari logam dengan kekerasan tertentu yang diijinkan, yang dapat dideteksi dengan mudah, jika beban penetrasi mengenainya. Dua pukulan penetrasi diberikan secara terpisah sedikitnya berjarak 3 inches (76.2 mm) dari sumbu vertikal yang digunakan selama

pengujian dampak. Helm dinyatakan lulus uji, jika beban penetrasi tidak bersentuhan dengan permukaan kepala uji.

2.3.6 Syarat Mutu Menurut *Snell Memorial Foundation*.

Pengujian penetrasi dilakukan helm yang digunakan pada pengendara sepeda motor, *special application racing*, *kart racing*, pemain ski dan penunggang kuda. Helm dipasang pada dasar yang kokoh (kepala uji). Pada gambar 2.7 sebuah beban penetrasi (*penetration test striker*) dengan masa $3 \text{ kg} \pm 50 \text{ g}$, dijatuhkan dengan gerakan jatuh bebas dalam sebuah pipa pengarah dari ketinggian $3 \text{ m} \pm 15 \text{ mm}$ di atas permukaan luar dari helm yang diuji. Ujung dari *striker* berbentuk konus dengan sudut $60^\circ \pm 0.5^\circ$ dan ketinggian $38 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$. Kekerasan bagian yang runcing $60 \text{ Rockwell (scale C} \pm 3 \text{ points)}$ dan mempunyai radius $0.5 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$. Beban penetrasi tersebut tidak boleh melukai helm atau bersentuhan dengan permukaan kepala uji.



Gambar 2.7 Uji helm metode *Penetration Test*.

Sumber : [Http://www.msfusa.org](http://www.msfusa.org)

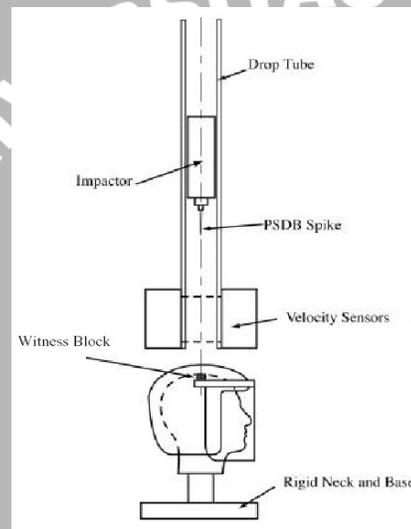
3 Uji Penetrasi Menurut *Police Standard Development Branch*.

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan pemakai terlindung dari beban penetrasi terhadap helm. Helm yang sudah siap diuji dipasangkan pada kepala uji, *indenter* diletakkan lurus pada perpotongan bidang *mid-sagittal* dan *mid-coronal* dari helm. Selanjutnya beban beserta *indenter* ditarik ke atas hingga ujung *indenter* berjarak 1.2 m terhadap permukaan helm. Jatuhkan beban dengan prinsip jatuh bebas dan catat

kecepatan *indentor* saat mengenai permukaan helm. Lepaskan helm dari kepala uji dan periksa *witness block*. Helm akan lolos uji, jika tidak bekas luka pada *witness block*. Susunan peralatan uji seperti terlihat pada gambar 2.8.

Peralatan yang digunakan terdiri dari:

- Tabung pengarah beban jatuh bebas.
- Beban yang dilengkapi *indentor*.
- Kepala uji yang dilengkapi dengan *witness block*.
- Alat pengukur kecepatan.



Gambar 2.8 *Penetration Test* menurut PSDB.

Sumber : [Http://www.msfausa.org](http://www.msfausa.org)

2.4. Hubungan Tegangan Regangan Elastis.

Tegangan σ diperoleh dengan membagi gaya tarik F dengan luas penampang mula-mula A dari spesimen uji tarik, sehingga dapat dirumuskan (Ugural, 1995)

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

Untuk kasus tiga dimensi, sebuah elemen yang sangat kecil akan menderita tegangan normal pada permukaannya yang besarnya adalah σ_x , σ_y , σ_z , sedangkan tegangan geser yang bekerja adalah τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} dimana :

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad ; \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} \quad ; \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}$$

Sedangkan untuk mendapat regangan ϵ adalah dengan membagi perpanjangan yang terjadi δ dengan panjang mula-mula L_0 , regangan dirumuskan (Ugural, 1995)

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} \tag{2.7}$$

Rasio antara tegangan dengan regangan normal disebut dengan modulus elastisitas atau modulus Young, yang ditulis dengan (Ugural, 1995)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \tag{2.8}$$

Sedangkan rasio antara tegangan dan regangan geser disebut dengan modulus geser yang dinotasikan dengan (Ugural, 1995:67).

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \tag{2-9}$$

dimana:

τ = tegangan geser

γ = regangan geser

Poisson's ratio adalah konstanta kesebandingan antara regangan aksial dengan regangan lateral, persamaan ini dapat dituliskan (Ugural, 1995)

$$-\nu = \frac{\text{reg. lateral}}{\text{reg. aksial}}$$

Kontraksi dalam arah lateral (arah y dan z) adalah sama yaitu (Ugural, 1995)

$$\epsilon_y = \nu \epsilon_x = \nu \frac{\sigma_x}{E} \tag{2.10}$$

$$\epsilon_z = \nu \epsilon_x = \nu \frac{\sigma_x}{E}$$

Regangan normal disebabkan oleh σ_y dan σ_z sama dengan regangan yang disebabkan oleh σ_x . Regangan normal karena adanya σ_y adalah

$$\epsilon_x = \epsilon_z = -\nu \epsilon_y = -\nu \frac{\sigma_y}{E} \tag{2.11}$$

Sedangkan regangan normal yang disebabkan oleh σ_z adalah



$$\epsilon_x = \epsilon_y = -\nu\epsilon_z = -\nu\frac{\sigma_z}{E} \quad (2.12)$$

Tanda negatif menunjukkan adanya kontraksi dari benda.

Untuk material isotropik hubungan tegangan regangan adalah (Ugural, 1995)

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x - \nu\sigma_y - \nu\sigma_z}{E}; \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (2.13)$$

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y - \nu\sigma_x - \nu\sigma_z}{E}; \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad (2.14)$$

$$\epsilon_z = \frac{\sigma_z + \nu\sigma_x + \nu\sigma_y}{E}; \quad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G} \quad (2.15)$$

dimana:

E= modulus elastisitas

G = modulus geser

ν = Poisson's ratio



Hubungan antara modulus elastisitas dengan modulus geser dan *Poisson's ratio* dituliskan (Ugural, 1995)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.16)$$

Tegangan beserta regangan dapat ditulis dalam bentuk matriks kolom sebagai berikut:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zy} \end{bmatrix} \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \epsilon_4 \\ \epsilon_5 \\ \epsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix}$$

Dalam bentuk matriks hubungan tegangan regangan adalah (Robert D Cook,1990)



$$\epsilon = c \cdot \sigma \tag{2.17}$$

Dengan

$$c = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & 1 & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & -\nu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \tag{2.18}$$

Karena $\sigma = \xi \epsilon$ maka

$$\xi = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

Dimana:

E = modulus elastisitas

ξ = matrik operator yang menghubungkan vektor tegangan dengan matrik regangan

ν = Poisson's ratio

G = modulus geser

2.5 Hubungan Tegangan Regangan Plastis

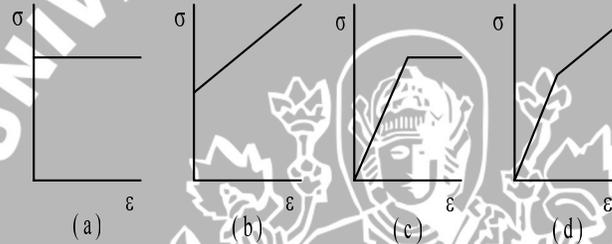
Pada kondisi plastis, deformasi yang terjadi bersifat *irreversible* dan pada kondisi ini hukum *Hooke* sudah tidak berlaku lagi. Salah satu karakteristik dari deformasi plastis adalah logam sebenarnya bersifat tidak mampu tekan (*incompressible*), sehingga pada deformasi plastis bisa dianggap volume konstan.

Untuk mendapatkan penyelesaian masalah deformasi, maka perlu untuk mengidealisasikan hubungan tegangan regangan. Gambar 2.9 (a) menunjukkan idealisasi *rigid perfectly plastic* dimana bahan akan mengalami deformasi plastis ketika mengalami

pembebanan sampai batas tertentu tanpa mengalami deformasi elastis. Deformasi plastis ini akan bertambah meskipun tegangan yang dialami konstan.

Jika deformasi bertambah secara linier terhadap penambahan beban maka idealisasi *rigid perfectly plastic* tidak berlaku lagi. Untuk bahan seperti ini idealisasi yang sesuai adalah rigid linier strain hardening dengan kurva tegangan regangan seperti pada gambar 2.9 (b).

Kedua idealisasi di atas adalah cocok untuk bahan-bahan plastis, dalam hal ini bahan tersebut tidak mengalami deformasi elastis. Jika suatu bahan mengalami deformasi plastis dan elastis, maka idealisasinya bisa *Elastic perfectly plastic* seperti pada gambar 2.9 (c) atau *Elastic linier strain hardening* gambar 2.9 (d)

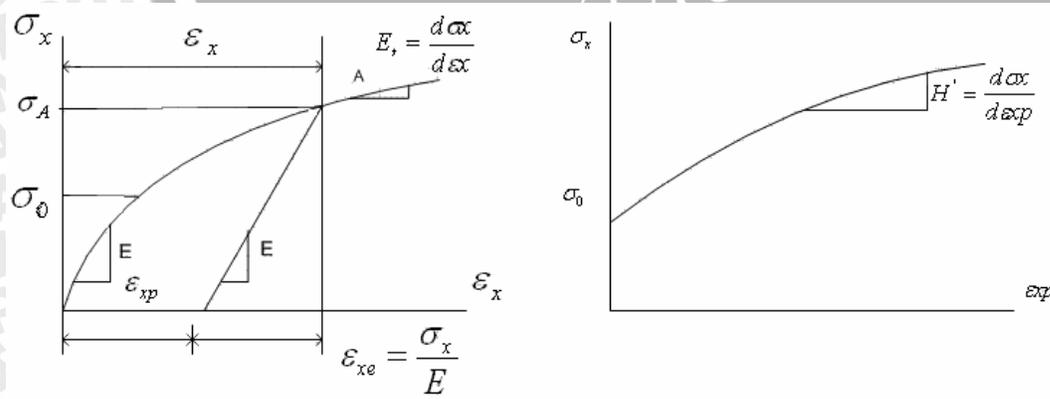


- a. *Rigid perfectly plastic*
- b. *Rigid linear strain hardening*
- c. *Elastic perfectly plastic*
- d. *Elastic linear strain hardening*

Gambar 2.9 Variasi perilaku plastis

Sumber : Tj Chung ,Continuum Mechanics, 1987

Sedangkan hubungan antara tegangan ekivalen dan regangan ekivalen seperti gambar dibawah ini



Gambar 2.10 . Hubungan tegangan ekivalen dengan regangan ekivalen

Sumber : Robert D Cook,1990

Pada Gambar 2.10 E_t adalah modulus tangen dan dirumuskan

$$E_t = \frac{d\bar{\sigma}}{d\bar{\epsilon}} \quad (2.20)$$

Hubungan E_t , E , dan *strain hardening parameter* H' , pada Gambar 2.10 diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (2-26) ke dalam

$$d\bar{\epsilon} = \frac{d\bar{\sigma}}{E} + \frac{d\bar{\sigma}}{H'} \quad (2.21)$$

Luluh terjadi pertama kali ketika $\bar{\sigma}$ mencapai $\bar{\sigma}_0$. Ketika $\bar{\epsilon}^p$ meningkat, nilai $\bar{\sigma}$ yang harus dicapai untuk menghasilkan *yield* tahap berikutnya juga meningkat. Hal ini disebabkan pengaruh *strain hardening*. Jika kita menurunkan pada kedua sisi maka kita akan memperoleh persamaan

$$d\bar{\sigma} = \left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\} \{d\sigma_x, d\sigma_y, d\sigma_z, d\tau_{xy}, d\tau_{yz}, d\tau_{xz}\} = \left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\} \{d\sigma\} \quad (2.22)$$

dimana

$$\left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\}^T = \left\{ \frac{3\bar{\sigma}_x}{2\bar{\sigma}}, \frac{3\bar{\sigma}_y}{2\bar{\sigma}}, \frac{3\bar{\sigma}_z}{2\bar{\sigma}}, \frac{3\tau_{xy}}{\bar{\sigma}}, \frac{3\tau_{yz}}{\bar{\sigma}}, \frac{3\tau_{xz}}{\bar{\sigma}} \right\} \quad (2.23)$$

dan

$$\sigma'_x = \sigma_x - \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{1}{3}(2\sigma_x - \sigma_y - \sigma_z)$$

Prandtl Reuss menyatakan hubungan regangan plastis

$$d\epsilon^p = \left\{ d\epsilon_x^p, d\epsilon_y^p, d\epsilon_z^p, d\gamma_{xy}^p, d\gamma_{yz}^p, d\gamma_{xz}^p \right\} = \left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\} d\bar{\epsilon} \quad (2.24)$$

Inkremen regangan $\{d\epsilon\}$ adalah jumlah dari inkremen regangan elastis $\{d\epsilon^e\}$ dan inkremen regangan plastis $\{d\epsilon^p\}$. Maka dari hukum Hooke diperoleh

$$\partial \sigma = [C_e] \{d\epsilon^e\} = [C_e] \{ \{d\epsilon\} - \{d\epsilon^p\} \} \quad (2.25)$$

Hubungan yang menyatakan $\{d\epsilon^p\}$ terhadap total inkremen regangan $\{d\epsilon\}$ diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (2-24) ke dalam Persamaan (2-25), kemudian

dikalikan kedua sisinya dengan $\left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\}^T$. Gambar 2.10 dan Persamaan (2-24) menunjukkan bahwa

$$\left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\}^T \{d\sigma\} = H' d\bar{\epsilon}^p \quad (2.26)$$

dan jika kita substitusikan pada langkah sebelumnya diperoleh

$$d\bar{\epsilon} = \frac{\left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\}^T [C_e]}{H' + \left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\}^T [C_e] \left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\}} \{d\epsilon\} = [W] \{d\epsilon\} \quad (2.27)$$

Akhirnya hubungan inkremental tegangan dengan inkremental regangan, analog dengan hukum Hooke tapi hanya valid sampai batas proporsional, diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (2.27) ke dalam Persamaan (2.24) dan hasilnya disubstitusikan lagi ke Persamaan (2-26). Hasilnya adalah

$$d\sigma = \left([C_e] - [C_e] \left\{ \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \sigma} \right\} [W] \right) \{d\epsilon\} = [C_{ep}] \{d\epsilon\} \quad (2.28)$$

dimana $[C_{ep}]$ adalah matrik konstitutif untuk kondisi elastis plastis.

2.6 Tegangan dan Regangan pada Pelat

Jika suatu pelat dikenai beban maka diasumsikan bahwa komponen tegangan dan regangan kearah tebal pelat dapat diabaikan. Pada keadaan tersebut maka variasi tegangan terhadap z yaitu melintang benda adalah konstan maka 3 komponen dari keenam komponen tegangan dalam benda 3 dimensi σ_z , τ_{xz} dan τ_{yz} dapat diabaikan.

Komponen tegangan yang bukan nol adalah

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

yang merupakan fungsi-fungsi koordinat x dan y saja

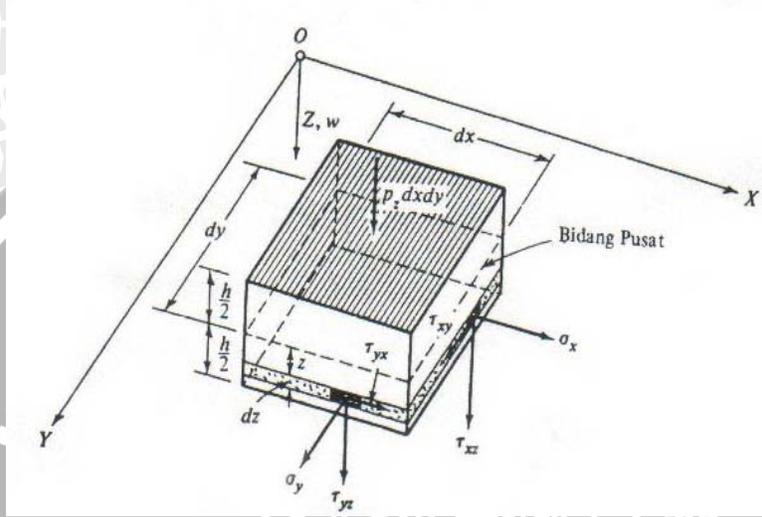
Jika bahan diasumsikan linear, elastik dan isotropik, maka dengan hukum Hooke akan didapat 3 komponen tegangan yaitu

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} \epsilon_x + \frac{\nu E}{1-\nu^2} \epsilon_y \quad (2.29)$$

$$\sigma_y = \frac{\nu E}{1-\nu^2} \epsilon_x + \frac{E}{1-\nu^2} \epsilon_y \quad (2.30)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy} \quad (2.31)$$

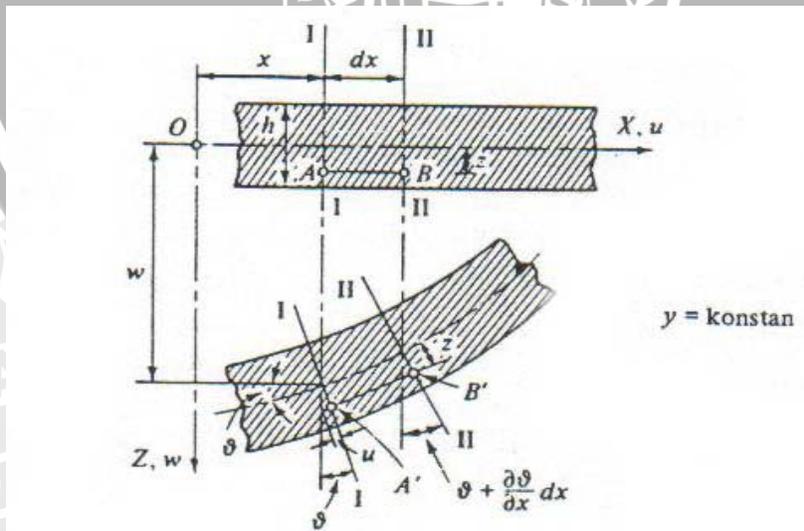
Pada gambar dibawah 2.11 ditunjukkan suatu tegangan yang dialami oleh suatu elemen pelat



Gambar 2.11. Tegangan pada suatu elemen pelat

Sumber : Rudolph Szilard, 1989

Untuk mencari hubungan tegangan dan regangan pada pelat dapat dilakukan dengan membandingkan penampang (iris) sebelum melendut dan sesudah melendut seperti gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12. Penampang pelat sebelum dan sesudah berubah bentuk

Sumber : Rudolph Szilard, 1989: 29

Jika diasumsikan bahwa sudut rotasi I-II dan II-III sebagai $\partial = -\frac{\partial w}{\partial x}$ dan

$\partial + \dots = \partial + \frac{\partial \vartheta}{\partial x} dx$ maka dapat dicari persamaan regangan sebagai berikut

$$\epsilon_x = \frac{\Delta dx}{dx} = \frac{A'B' - AB}{AB} = \frac{[dx + z(\partial \vartheta / \partial x)] - dx}{dx} = z \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \quad (2.32)$$

$$\epsilon_x = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (2.33)$$

Dengan cara yang sama untuk tegangan arah sumbu y yaitu :

$$\epsilon_y = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (2.34)$$

Komponen tegangan σ_x dan σ_y menimbulkan elemen lentur pada elemen pelat. Jadi dengan mengintegrasikan komponen tegangan normal, kita peroleh momen lentur yang bekerja pada elemen pelat

$$m_x = \int_{-(h/2)}^{+(h/2)} \sigma_x z dz \quad (2.35)$$

$$m_y = \int_{-(h/2)}^{+(h/2)} \sigma_y z dz \quad (2.36)$$

Demikian pula momen puntir akibat tegangan geser $\gamma = \gamma_{xy} = \gamma_{yx}$ dapat dihitung dari

$$m_{xy} = \int_{-(h/2)}^{+(h/2)} \tau_{xy} z dz \quad (2.37)$$

Kemudian jika disubstitusikan persamaan 2.28 dan persamaan 2.29 kedalam persamaan 2.24 dan persamaan dan tegangan normal σ_x dan σ_y bisa dinyatakan dalam lendutan lateral w maka didapat :

$$\sigma_x = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.38)$$

$$\sigma_y = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.39)$$

$$m_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.40)$$

$$m_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.41)$$

Dengan $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ yaitu menyatakan ketegaran lentur (*flexural rigidity*) pelat.

Dengan cara yang sama, akan diperoleh persamaan momen puntir dalam lendutan lateral:

$$\begin{aligned} m_{xy} = m_{yx} &= \int_{-(h/2)}^{+(h/2)} \tau_{xy} z dz = -2G \int_{-(h/2)}^{+(h/2)} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} z^2 dz \\ &= -(1-\nu)D \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \quad (2.42)$$

2.7. Teori Kegagalan

Teori yang sesuai untuk dipakai dalam analisa kegagalan untuk material isotropik adalah teori energi distorsi maksimum atau dinamakan teori Von Mises.. Teori ini menyatakan bahwa peluluhan pertama akan terjadi ketika energi distorsi per unit volume yang terjadi pada material dibawah pengaruh tegangan gabungan sama dengan energi distorsi geser dari uji tegangan tarik sederhana untuk material yang sama. Syarat luluh untuk bahan plastis secara ideal di bawah status tegangan triaksial dapat diperoleh dalam bentuk- bentuk tegangan utama.

(popov,1989:326):

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_{yp}^2 \quad (2-43)$$

Dimana : σ_1 = Tegangan prinsipal 1

σ_2 = Tegangan prinsipal 2

σ_3 = Tegangan prinsipal 3

Dengan ketentuan $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

Syarat agar suatu material tidak mengalami kegagalan adalah tegangan ekuivalen yang terjadi harus lebih kecil atau sama dengan tegangan luluh material

$$\sigma_e \leq \sigma_Y \quad (2-44)$$

2.8. Konsep Metode Elemen Hingga

Bila suatu kontinum yang diamati dibagi- bagi menjadi beberapa bagian yang kecil, maka bagian - bagian kecil ini disebut sebagai elemen hingga. Proses pembagian

ini dinamakan diskretisasi. Metode elemen hingga digunakan dalam memecahkan suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya menjadi lebih sederhana. Dalam beberapa hal, metode ini merupakan metode *computer oriented* yang harus dilengkapi dengan program yang tepat.

Tujuan utama analisis dengan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh nilai pendekatan (bukan eksak) tegangan dan peralihan dalam suatu struktur. Hal ini dikarenakan persamaan differensial yang harus diturunkan pada solusi eksak sangat kompleks dan ketika dihubungkan dengan kondisi batas (*boundary condition*) dan kondisi awal (*initial condition*). Solusi menyeluruh untuk suatu elemen merupakan penggabungan dari setiap elemen kecil.

Pendekatan terhadap fungsi kontinu merupakan solusi dari setiap elemen. Solusi menyeluruh untuk suatu elemen merupakan gabungan (*assembly*) dari setiap solusi elemen tadi.

2.8.1 Analisis menggunakan *software* yang berbasis metode elemen hingga

Software yang berbasis elemen hingga mempunyai kelebihan dalam mendeskritisasikan model dengan sangat halus, mampu memproses elemen yang banyak dan menghasilkan ketelitian yang tinggi. *Software* yang berbasis metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis antara lain analisis struktural, analisis termal, analisis listrik, analisis magnetis dan analisis fluida. Secara umum langkah-langkah analisisnya dibagi menjadi tiga yaitu:

1. *Preprocessing*

Pada proses awal ini akan dilakukan pemodelan dari benda kerja sebagai berikut:

- Pembuatan bentuk geometri 3 dimensi
- Mendefinisikan tipe elemen sesuai dengan bentuk benda kerja
- Menetapkan *material properties* dari benda kerja
- Diskritisasi model geometri menjadi elemen hingga (*meshing*)

2. *Solution*

Pada tahap ini mendefinisikan jenis analisis yang akan dipakai, memasukan kondisi batas (*constrain*), menerapkan pembebanan, dan inialisasi penyelesaian elemen hingga.

3. *Postprocessing*

Pada tahap ini menampilkan pembacaan hasil analisis dari proses solusi dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk plot kontur pada model.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental semu (*quas eksperimental research*), metode ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan sebagai acuan atau perkiraan dalam melaksanakan eksperimen nyata. Dalam hal ini peneliti berusaha sedekat mungkin pada prosedur dan tata cara dalam eksperimen nyata.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Juni 2009 sampai dengan selesai.

3.3. Tahap-Tahap Simulasi

Analisis dilakukan dengan beberapa tahapan proses. Urutan proses yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Agar dapat mendukung analisis yang dilakukan, perlu dilakukan pencarian informasi yang diperlukan pada literatur yang telah ada. Dalam hal ini penulis melakukan studi pustaka pada Perpustakaan Universitas Brawijaya dan Perpustakaan Jurusan Mesin, serta dari jurnal-jurnal yang didapatkan dari internet.

2. Pengambilan data

Helm yang dipakai sebagai model dalam simulasi ini adalah helm standar sesuai Standar Industri Indonesia dengan data sebagai berikut:

- Indentor yang dipakai sebagai model dalam simulasi ini sesuai Standar Industri Indonesia dengan data sebagai berikut:
 - Diameter 32 mm
 - Jari-jari ujung kerucut 0,5 mm
 - Sudut keruncingan 60°

- Dimensi helm
 - Panjang helm : 124 mm
 - Lebar helm : 97,5 mm
 - Tebal helm : 5 mm
- Material yang digunakan untuk Tebal sungkup helm adalah polykarbonat dengan data sebagai berikut:

Massa jenis (ρ)	: 1200 kg.m ⁻³
Modulus Elastisitas (E)	: 2.3 GPa
Yield Stress (σ_y)	: 55 MPa
Rasio Poisson (ν)	: 0,37

3 Simulasi dengan ansys 10.0

Secara garis besar proses ini meliputi permodelan dan analisis dengan metode elemen hingga.

➤ Pemodelan helm dan indenter.

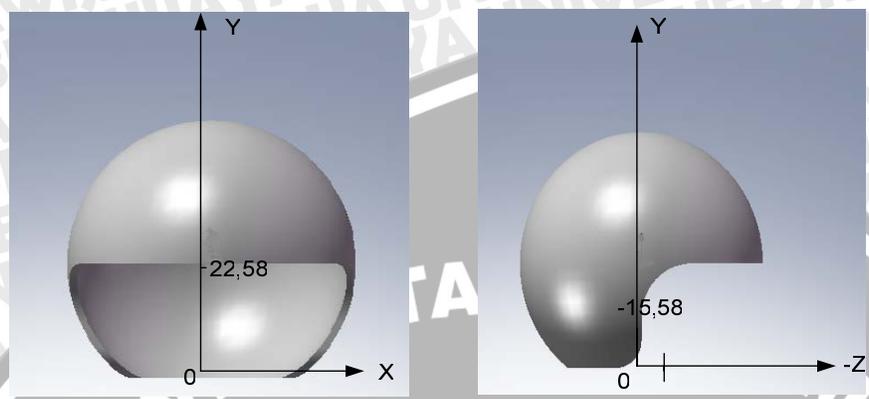
Sebelum dilakukan analisis dengan metode elemen hingga, maka perlu dibuat model helm dan indenter. Dalam memodelkan helm dan indenter ini, penulis berpedoman pada prinsip-prinsip pengujian helm berdasarkan standar SII dengan memanfaatkan software ansys 10.0. permodelan helm standard diusahakan sesuai dengan bentuk dan dimensi helm standard yang sesungguhnya.

Berdasarkan volume model helm standar dan massa jenisnya, maka dapat diketahui massa keseluruhan dari helm standar.

$$\begin{aligned}
 \text{Massa helm } (m_h) &= \text{massa jenis material helm } (\rho) \times \text{volume helm } (V) \\
 &= 1200 \text{ kg/m}^3 \times 1.3366 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 &= 0.160392 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

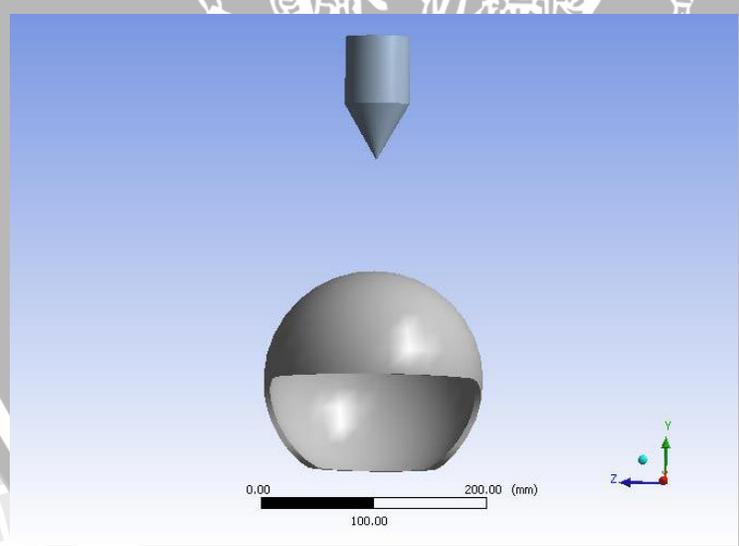
Sedangkan titik berat helm dapat dicari dengan bantuan komputer dengan menganbil titik O sebagai titik acuan. Seperti ditunjukkan pada gambar3.1 letak titik berat dari model helm standar terhadap titik acuan O adalah :

X : 0
 Y : 22,58
 Z : -15,58



Gambar 3.1 Letak titik pusat massa pada helm standard

Berdasarkan data yang telah diperoleh, kemudian dilakukan permodelan helm dan indenter dengan tujuan untuk memudahkan dalam proses analisis.



Gambar 3.2

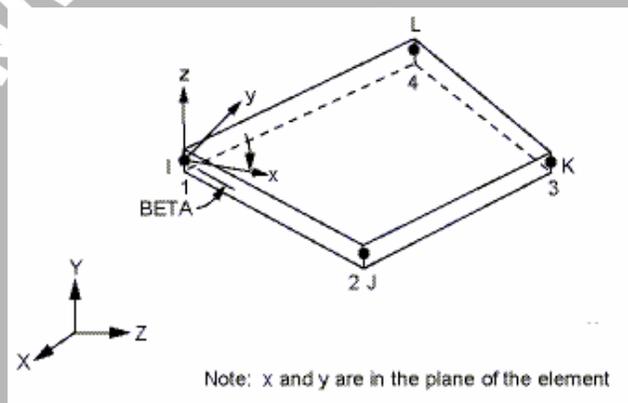
Gambar 3.2 memperlihatkan hasil pemodelan helm dan indenter. Jarak antara helm dan peluru diambil 60 cm dari bagian atas helm.

Pada pengujian SII penetrasi dilakukan dari arah atas helm sedangkan pada waktu terjadi kecelakaan penetrasi bisa terjadi dari seluruh permukaan helm, oleh sebab

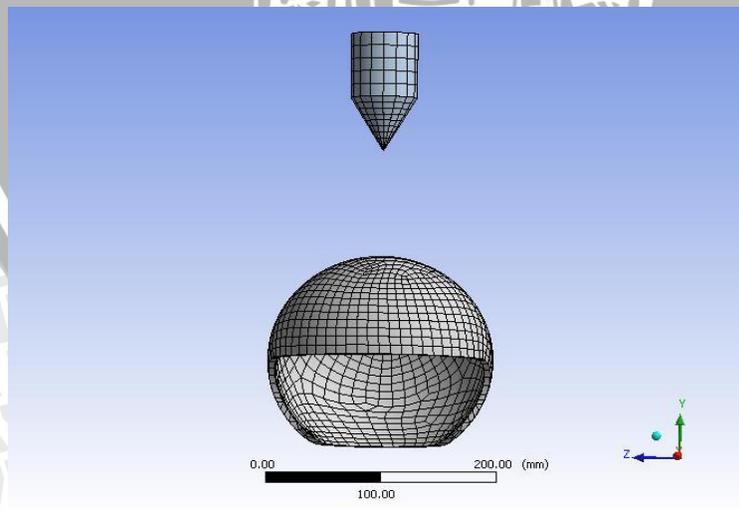
itu dalam pra desain ini arah pengujian akan dilakukan dari tiga arah atas, samping dan belakang helm.

➤ **Analisis metode elemen hingga.**

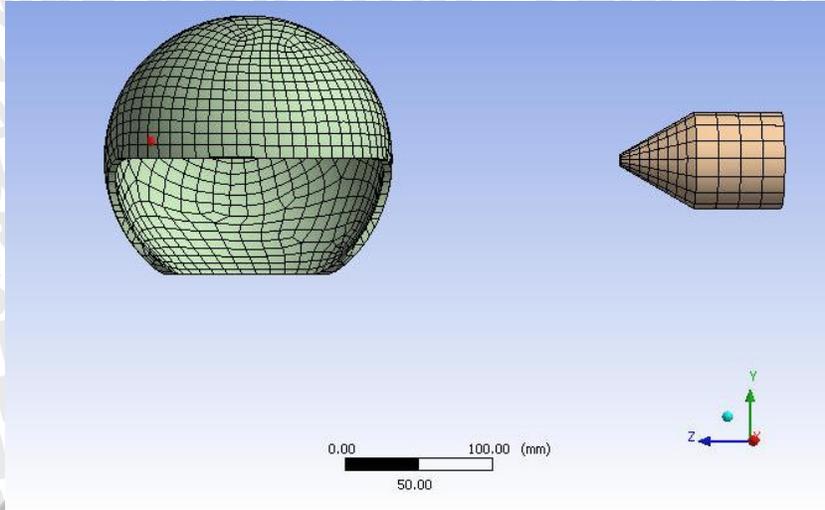
Model helm yang telah dibuat kemudian dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen. Gambar 3.4, 3.5 dan 3.6 memperlihatkan hasil pembagian elemen (diskretisasi) helm dan indentor. Semakin banyak jumlah elemen maka ketelitiannya semakin baik dan yang perlu diperhatikan dalam proses ini adalah type elemen serta data material yang digunakan. Adapun untuk material helm menggunakan idealisasi bilinear kinematic. Sedangkan untuk peluru menggunakan asumsi rigid. Tipe elemen yang dipakai seperti pada gambar 3.3 menggunakan thin shell 163 dengan bentuk sebagai berikut:



Gambar 3.3. Bentuk geometri thin shell 163

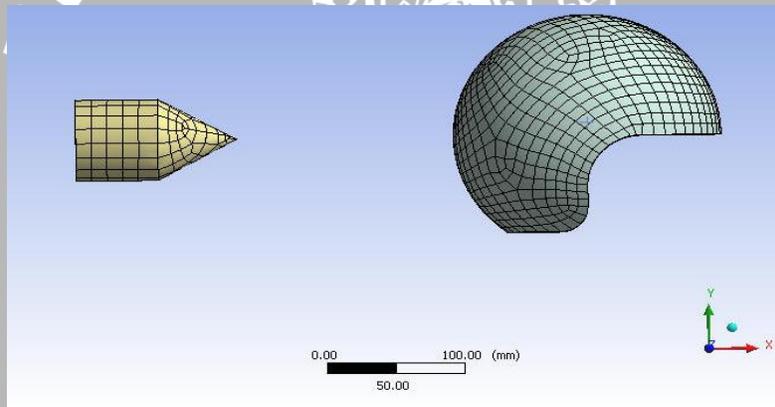


Gambar 3.4
Diskretisasi elemen pada simulasi tabrak helm dari arah atas



Gambar 3.5

Diskretisasi elemen pada simulasi tabrak helm dari arah samping



Gambar 3.6

Diskretisasi elemen pada simulasi tabrak helm dari arah belakang

Langkah selanjutnya adalah menentukan pembebanan pada indenter yang mempunyai berat 2kg. Sedangkan node-node pada helm yang akan mengalami penetrasi diberi tumpuan ketika terjadi penetrasi diconstrain baik translasi maupun rotasi supaya tidak mengalami perpindahan atau deformasi.

Apabila langkah-langkah diatas telah selesai maka langkah terakhir adalah run solution.

5 Analisis dan pembahasan

terakhir dilakukan analisis serta pembahasan terhadap hasil output dari simulasi uji penetrasi, yaitu distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada helm standar.

6 Kesimpulan .

Hasil dari seluruh analisis diatas nantinya akan dapat diambil kesimpulan mengenai distribusi tegangan dan deformasi yang dialami helm standar.

3.4 langkah-langkah Simulasi dengan Ansys 10.0

A.. Preprocessing

Pada tahap ini dilakukan pemodelan helm standar serta indentor

1. Pembuatan bentuk geometri 3 dimensi standar dan indentor.
2. Mendefinisikan tipe elemen yaitu untuk helm standar dan indentor.
3. Memasukkan data material dari helm standar serta indentor.
4. Diskritisasi model menjadi elemen hingga (*meshing*).
5. Menentukan pembebanan penetrasi berupa kecepatan.

B. Solution

Tahap selanjutnya mendefinisikan jenis analisa yang akan dipakai dengan memasukkan kondisi batas dan menerapkan kontak antara helm dengan indentor.

C. Postprocessing

Meninjau hasil dari proses analisa yang telah dilakukan program bisa melalui daftar tabel (*list*) maupun grafis (gambar)

3.5. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah arah dari penetrasi yang akan diuji.

3.6. Variabel terikat

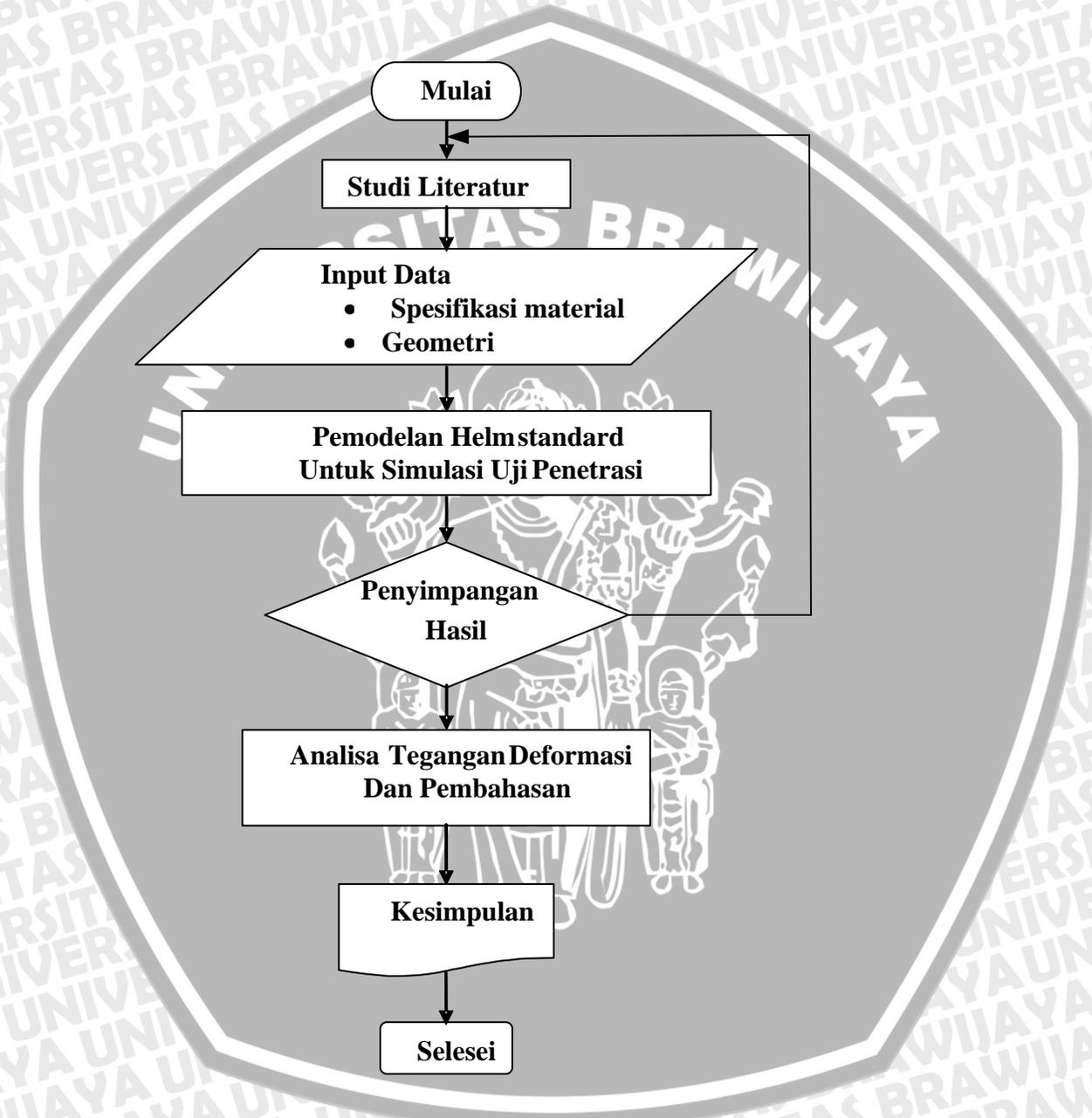
Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai ketahanan helm dari uji penetrasi. Nilai ini dipengaruhi oleh beban, modulus elastsitas, jarak dari indentor ke helm.

3.7. Variabel tetap

Variabel tetap pada penelitian ini adalah nilai dari modulus elastisitas, poisson ratio dan densitasnya.

3.8 Diagram Alir Penelitian

Secara umum langkah-langkah penelitian yang dilakukan mengikuti diagram alir seperti pada gambar 3.7 dibawah ini:

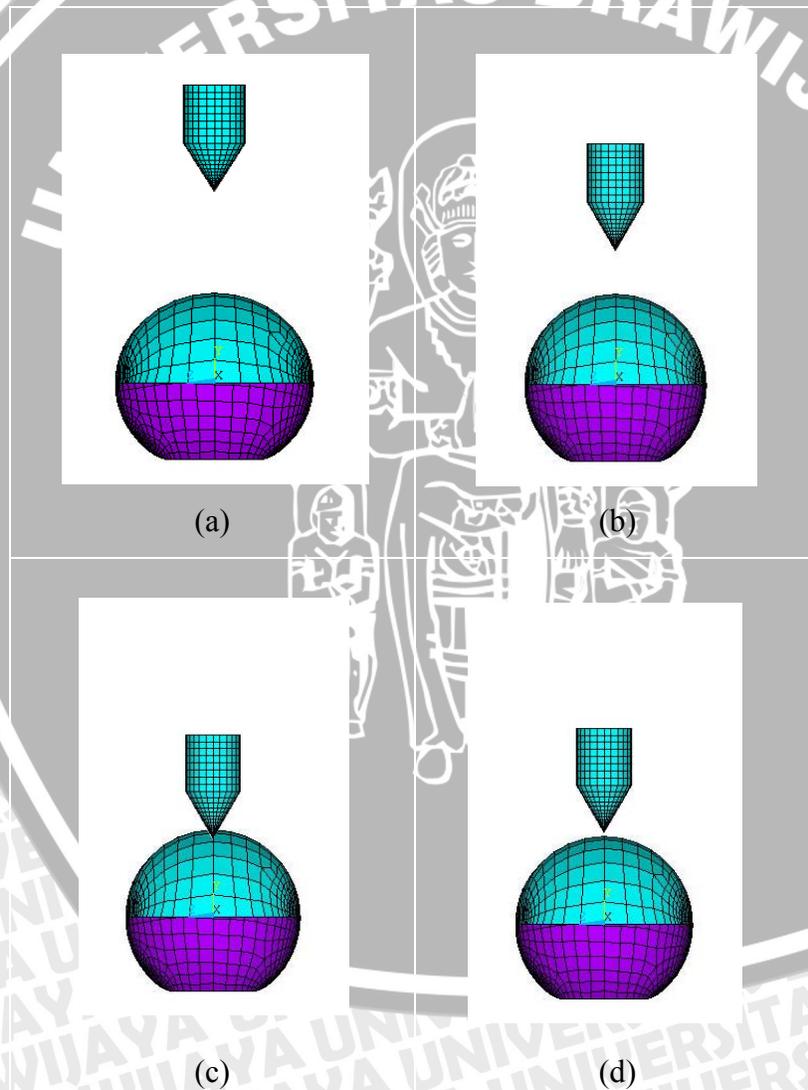


Gambar. 3.7 Diagram alir penelitian

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis Metode Elemen Hingga.

Dari output program ini didapatkan nilai-nilai tegangan dan deformasi yang terjadi pada tiap node. Nilai tegangan yang diambil berdasarkan konsep kegagalan dengan menggunakan kriteria kegagalan energi distorsi maksimum (*Von Mises*). Dengan program ini juga didapat simulasi proses uji penetrasi helm disertai pola distribusi tegangan dan deformasi yang dialami helm tersebut seperti gambar 3.4 di bawah ini



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Penetrasi helm

Adapun nilai-nilai tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada helm ditunjukkan oleh tabel dibawah ini

Tabel 4.1.1 Nilai tegangan yang dialami helm dari arah atas

Tegangan	Minimum		Maksimum	
	Node	Nilai S (MPa)	Node	Nilai S (MPa)
S _X	8	-1220.0	206	160.50
S _Y	194	-693.40	43	6.4871
S _Z	8	-1237.0	24	112.66
S _{XY}	230	-249.32	11	310.68
S _{YZ}	384	-309.03	72	303.03
S _{XZ}	57	-323.57	232	330.54
S Von Misses	8	1178.8	37	40.733

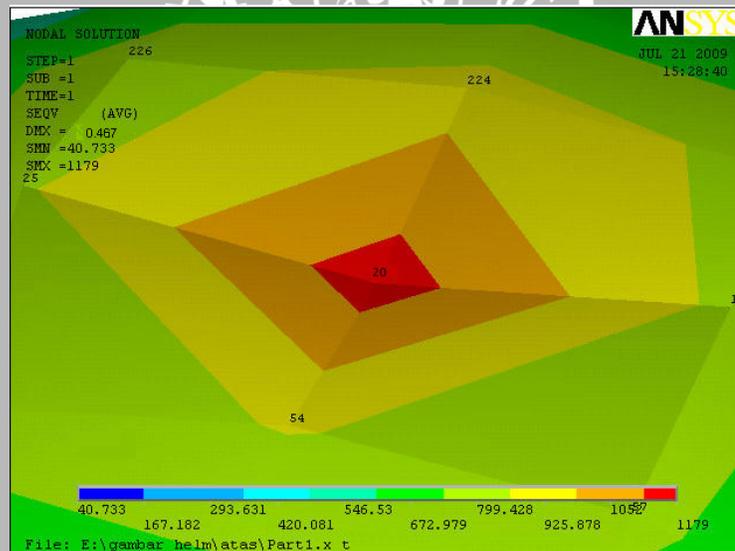
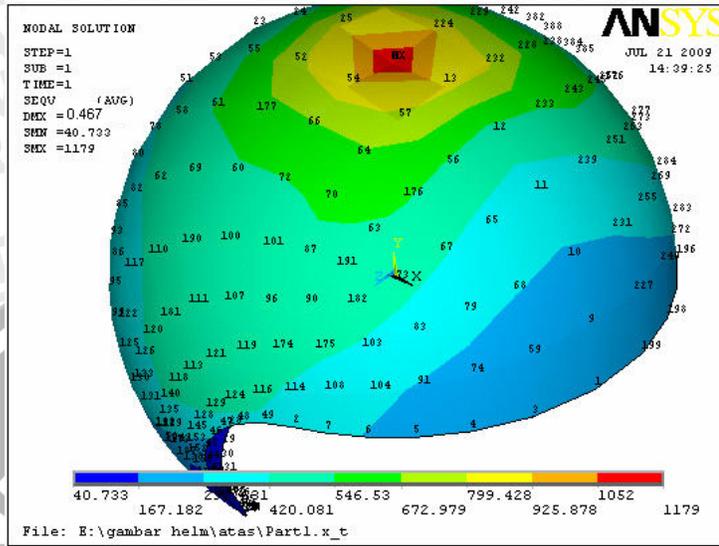
Tabel 4.1.2 Nilai tegangan yang dialami helm dari arah samping

Tegangan	Minimum		Maksimum	
	Node	Nilai S (MPa)	Node	Nilai S (MPa)
S _X	371	-9940.7	206	6753.6
S _Y	375	-10471.	194	7363.7
S _Z	266	-2109.9	212	1258.9
S _{XY}	287	-4209.2	203	2944.1
S _{YZ}	375	-3467.7	353	1226.9
S _{XZ}	285	-1303.8	281	3266.5
S Von Misses	47	127.94	350	10935

Tabel 4.1.3 Nilai tegangan yang dialami helm dari arah belakang

Tegangan	Minimum		Maksimum	
	Node	Nilai S (MPa)	Node	Nilai S (MPa)
S _X	204	-7111.0	35	896.25
S _Y	21	-11059.	125	2125.5
S _Z	20	-13350.	23	1255.6
S _{XY}	21	-4311.0	14	4168.4
S _{YZ}	241	3597.3	241	3597.3
S _{XZ}	248	3170.0	248	3170.0
S Von Misses	20	12118	165	119.18

Sedangkan bentuk deformasi setelah mengalami penetrasi dengan *indenter* ditunjukkan pada gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 Plot Kontur deformasi maksimum pada helm standar dari arah atas

Adapun nilai-nilai deformasi maksimum yang terjadi pada helm seperti pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2.1 Nilai deformasi maksimum pada helm dari arah atas

Deformasi	Node	Deformasi (cm)
Arah x	22	0.353
Arah y	8	0.352
Arah z	262	0.346

Tabel 4.2.2 Nilai deformasi maksimum pada helm dari arah samping

Deformasi	Node	Deformasi(cm)
Arah X	381	0.361
Arah Y	379	0.175
Arah Z	292	0.342

Tabel 4.2.3 Nilai deformasi maksimum pada helm dari arah belakang

Deformasi	Node	Deformasi(cm)
Arah X	20	0.451
Arah Y	23	0.424
Arah Z	85	0.379

Untuk mengetahui besarnya deformasi arah z yang terjadi pada helm standar, maka harus menghitung terlebih dahulu selisih perpindahan arah z dari masing-masing node dengan node acuan, yang mana node acuan ini tidak mengalami deformasi karena data output dari ANSYS 10.0 hanya berupa nilai perpindahan translasi node baik untuk arah X,Y,Z, sehingga nilai deformasinya adalah :

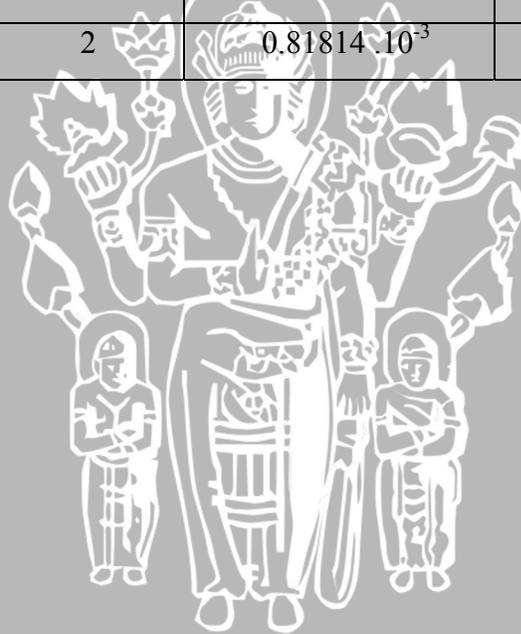
$$\text{Deformasi arah Y} = \text{Translasi Y node tanpa deformasi} - \text{Translasi Y node terdeformasi}$$

Nilai translasi node tanpa deformasi didapat dengan memilih salah node pada helm yang mempunyai nilai translasi paling besar sebagai acuan yaitu node 14 sebagaimana data lampiran 2 dengan nilai translasi sebesar 0.467 cm. Sebagai contoh perhitungan adalah node 8 dimana perpindahan translasi ke arah Y (U_y) didapat sebesar 0.352 cm, maka deformasi yang dialami tersebut yaitu $(0.467-0,352)\text{cm} = 0.115 \text{ cm}$.

Proses pembacaan hasil juga menyajikan besar tegangan yang terjadi pada spesimen sebagai akibat penetrasi. Hasil yang diambil pada simulasi uji penetrasi helm ini adalah tegangan *Von Mises*. Data tegangan *Von Mises* dapat menunjukkan besar pembebanan maksimal yang bisa diberikan terhadap spesimen sekaligus batas tahapan pembebanan agar spesimen tidak mengalami kegagalan. Berikut adalah nilai tegangan *Von Mises* pada penetrasi impak 2 kg.

Tabel 4.2.4. Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan Maksimal

Arah penetrasi	Beban (kg)	Tegangan (MPa)	Node
Atas	2	$0.64267 \cdot 10^{-3}$	8
Samping	2	$0.10935 \cdot 10^{-3}$	47
Belakang	2	$0.81814 \cdot 10^{-3}$	20



4.2 Pembahasan

Dari hasil analisis dengan metode elemen hingga diperoleh nilai tegangan *von mises* dan nilai deformasi. *Von Mises* merupakan teori kegagalan untuk material ductile, tetapi hanya untuk kondisi elastis saja. Dengan teori ini, material akan mengalami kegagalan jika setiap titik pada material, energi distorsi tiap unit volume dalam keadaan terkombinasi (*multiaksial*) sama dengan atau lebih dari energi distorsi peluluhan (*yield*) pada percobaan tegangan sederhana. Dalam analisa metode elemen hingga untuk kasus simulasi tabrak helm ini, teori *von mises* digunakan untuk melihat kondisi tegangan yang diterima helm standar, hal ini dikarenakan pada simulasi tabrak helm ini, helm telah mencapai kondisi plastis.

Dari hasil analisis penetrasi helm dengan metode elemen hingga yang dilakukan dari 3 arah atas, samping dan belakang didapat bahwa secara keseluruhan bagian atas helm mendapat tegangan *von mises* yang paling besar diantara bagian helm yang lain karena bagian ini yang mengalami penetrasi oleh indenter.

Pada lampiran 8 nilai tegangan *von mises* terbesar terjadi pada arah atas terjadi pada node 8 yaitu $0.64267 \cdot 10^{-3}$ MPa, dari arah samping terjadi pada node 47 yaitu $0.10935 \cdot 10^{-3}$ MPa, dari arah belakang terjadi pada node 20 yaitu $0.81814 \cdot 10^{-3}$ MPa Nilai tersebut tidak melewati tegangan luluh bahan dari material helm yaitu 55 MPa sehingga helm tidak mengalami deformasi plastis.

Helm yang mengalami deformasi yang paling besar pada lampiran 4 terjadi dari arah belakang dengan node 20 yaitu $0.81814 \cdot 10^{-3}$.

Hasil analisis dengan metode elemen hingga untuk penetrasi dari arah atas deformasi arah Y, Node yang mengalami deformasi terbesar pada lampiran 2 dari arah atas yaitu node 8 sebesar 0.352 cm, pada arah Z yaitu sebesar 0.346 pada node 262, sedangkan pada arah sumbu X sebesar 0.353 pada node 22.

Hasil analisis dengan metode elemen hingga untuk penetrasi dari arah samping deformasi arah X, Node yang mengalami deformasi terbesar dari arah atas lampiran 3 yaitu node 381 sebesar 0.361 cm, pada arah Y yaitu sebesar 0.175 pada node 379, sedangkan pada arah sumbu Z sebesar 0.342 pada node 292

Hasil analisis dengan metode elemen hingga untuk penetrasi dari arah belakang deformasi arah Z. lampiran 4 Node yang mengalami deformasi terbesar dari arah Z yaitu

node 85 sebesar 0.379 cm, pada arah X yaitu sebesar 0.451 pada node 20, sedangkan pada arah sumbu Y sebesar 0.424 pada node 23.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dengan metode simulasi diketahui bahwa tegangan *Von Mises* terbesar dari arah atas pada lampiran 8 terjadi pada node 8 yaitu $0.64267 \cdot 10^{-3}$ MPa, dari arah samping pada lampiran 9 terjadi pada node 47 yaitu $0.10935 \cdot 10^{-3}$ MPa, dari arah belakang pada lampiran 10 terjadi pada node 20 yaitu $0.81814 \cdot 10^{-3}$ MPa. Nilai tersebut tidak melewati tegangan *yield* dari material helm yaitu 55 MPa sehingga helm tidak mengalami deformasi plastis. Nilai deformasi maksimum yang dialami oleh masing-masing helm dengan uji penetrasi pada lampiran 2 dari atas pada arah Y sebesar 0.352 cm pada node 8, arah sumbu X sebesar 0.353 cm pada node 22, arah sumbu Z 0.346 pada node 262. Dari samping lampiran 3 pada arah X sebesar 0.361 cm pada node 381, arah sumbu Y sebesar 0.175 cm pada node 379, arah sumbu Z 0.342 cm pada node 292. Dari belakang lampiran 4 pada arah Y sebesar 0.424 cm pada node 23, arah sumbu X sebesar 0.451 cm pada node 20, arah sumbu Z 0.379 pada node 85.

5.2 Saran

1. Perlu dibuat pemodelan kepala manusia sehingga dapat diketahui secara langsung pengaruh dari deformasi yang terjadi.
2. Dalam simulasi ini material untuk helm diasumsikan *bilinier kinematic* untuk itu perlu dicoba asumsi material lain seperti *foam viscoelastic* atau *crushable* supaya hasil penetrasi yang ditimbulkan mendekati kenyataan.

Lampiran I. Data material helm

Material Information Polycarbonate PC

Buy Polycarbonate online

Buy small quantities online of Polycarbonate for research and/ or development

General Description :

Common Brand names : lexan Makrofol Makrolon

General Description: A crystal clear and colorless, amorphous engineering thermoplastic notable for its high impact resistance (which remains high down to -40C). it has reasonably good dimensional stability and low creep but somewhat limited chemical resistance and is prone to enviromental stress cracking. It also has poor fatigue and wear properties.

Applications include glazing, safety shield, lenses, casings and housings, light fittings, kitchenware (microwaveable), medical apparatus (sterilisable) and CD's(the disc).

Chemical Resistance

Acids – concentrated	Good
Acids – dilute	Good
Alcohols	Good
Alkalis	Good-Poor
Aromatic hydrocarbons	Poor
Greases and Oils	Good-Fair
Halogenated Hydrocarbons	Good-Poor
Halogens	Poor
Ketones	Poor

Electrical Properties

Dielectric constant @1 MHz	2.9
Dielectric stenght (kV mm ⁻¹)	15-67
Dissipation factor @ 1MHz	0.01
Surface resistivity (Ohm/sq)	10 ¹⁵
Volume rsistivity (Ohmmcm)	10 ¹⁴ -10 ¹⁶

Mechanical Properties

Abrasive resistance –ASTM D1004 (mg/ 1000 cycles)	10-15
Coeffisient of friction	0.31
Compressive strenght (MPa)	> 80
Elongation at break (%)	100-150
Hardness – Rockwell	M70
Izod impact strenght (J m ⁻¹)	600-850
Poisson's ratio	0.37
Tensile modulus (GPa)	2.3-2.4
Tensile strenght (Mpa)	55-75

Physical Properties

Abbe number	34.0
Density (9 cm ⁻³)	1.2
Flammability	V0-V2
Limithing oxygen index (%)	25-27
Radiation resistance	Fair
Refractive index	1.584-6
Resistance to Ultra-violet	Fair
Water absorption – equilirium (%)	0.35
Water absorption – over 24 hours (%)	0.1

Thermal Properties

Coefficient of thermal expansion (x10 ⁶ K ⁻¹)	66-70
Heat-deflection temperature – 0.45 MPa (C)	140
Heat deflection temperature -1.8MPa (C)	128-138
Lower working temperature -1.8MPa (C)	-135
Specific heat (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	~1200
Thermal conductivity @23 C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0.19-0.22
Upper working temperature (C)	115-130

Follow the links to our online Catalog where you may buy from our range of standard products (including

Polycarbonate)

Lampiran 2, Tabel deformasi pada helm standar dari arah atas

Node	Perpindahan arah X (cm)	Perpindahan Arah Y (cm)	Perpindahan Arah Z (cm)	Deformasi arah Y (cm)
8	0.249	0.113	0.127	0.352 max
9	0.352	0.219	0.274	0.272
10	0.336	0.172	0.201	0.167
11	0.252	0.333	0.115	0.332
12	0.103	0.251	0.231	0.242
13	0.196	0.116	0.147	0.115
14	0.275	0.467	0.321	0.118
15	0.319	0.133	0.169	0.117
16	0.112	0.235	0.123	0.207
17	0.163	0.326	0.259	0.282
18	0.212	0.205	0.258	0.345
19	0.258	0.276	0.105	0.349
20	0.299	0.241	0.145	0.251
21	0.332	0.203	0.183	0.202
22	0.353 max	0.271	0.227	0.271
23	0.349	0.262	0.228	0.173
24	0.334	0.251	0.264	0.311
25	0.283	0.131	0.176	0.127
258	0.278	0.226	0.102	0.235
259	0.271	0.105	0.106	0.226
260	0.177	0.299	0.146	0.326
261	0.227	0.339	0.243	0.342
262	0.188	0.307	0.346 max	0.338
263	0.315	0.286	0.312	0.267
264	0.211	0.290	0.306	0.333
265	0.181	0.268	0.258	0.315

Nilai Deformasi Maksimum

Deformasi arah	Node	Deformasi (cm)
X	22	0.353
Y	8	0.352
Z	262	0.346

Lampiran 3, Tabel deformasi pada helm standar dari arah samping

Node	Perpindahan arah X (cm)	Perpindahan Arah Y (cm)	Perpindahan Arah Z (cm)	Deformasi arah X (cm)
290	0.229	0.106	0.236	0.174
291	0.304	0.174	0.166	0.132
292	0.212	0.162	0.342 max	0.268
293	0.108	0.154	0.153	0.177
294	0.219	0.126	0.246	0.273
295	0.212	0.158	0.296	0.258
296	0.215	0.152	0.288	0.182
297	0.216	0.109	0.224	0.146
298	0.323	0.158	0.223	0.225
299	0.234	0.158	0.289	0.329
300	0.243	0.121	0.156	0.192
375	0.279	0.159	0.122	0.223
376	0.269	0.118	0.204	0.248
377	0.264	0.162	0.289	0.294
378	0.239	0.143	0.196	0.257
379	0.293	0.175 max	0.271	0.288
380	0.297	0.171	0.216	0.287
381	0.282	0.151	0.212	0.361 max
382	0.356	0.128	0.194	0.248
383	0.185	0.133	0.212	0.271
384	0.225	0.124	0.188	0.221
385	0.252	0.117	0.227	0.266
386	0.212	0.156	0.337	0.357
387	0.233	0.147	0.125	0.245
388	0.392	0.113	0.255	0.292
389	0.299	0.104	0.325	0.249

Nilai Deformasi Maksimum

Deformasi arah	Node	Deformasi (cm)
X	381	0.361
Y	379	0.175
Z	292	0.342



Lampiran 4, Tabel deformasi pada helm standar dari arah belakang

Node	Perpindahan arah X (cm)	Perpindahan Arah Y (cm)	Perpindahan Arah Z (cm)	Deformasi arah Z (cm)
10	0.149	0.305	0.358	0.149
11	0.214	0.302	0.286	0.216
12	0.271	0.361	0.438	0.279
13	0.318	0.108	0.458	0.336
14	0.239	0.137	0.284	0.361
15	0.291	0.329	0.466	0.135
16	0.156	0.227	0.491	0.177
17	0.284	0.126	0.128	0.309
18	0.375	0.151	0.138	0.229
19	0.383	0.151	0.146	0.198
20	0.451 max	0.398	0.256	0.365
21	0.336	0.181	0.472	0.256
22	0.405	0.217	0.467	0.243
23	0.387	0.424 max	0.439	0.316
24	0.328	0.217	0.484	0.321
25	0.389	0.191	0.467	0.324
81	0.396	0.180	0.427	0.332
82	0.429	0.141	0.448	0.352
83	0.369	0.160	0.563	0.319
84	0.362	0.172	0.443	0.327
85	0.285	0.143	0.412	0.379 max
86	0.251	0.122	0.405	0.287
87	0.121	0.138	0.277	0.124
88	0.435	0.163	0.281	0.233
89	0.254	0.128	0.442	0.282
90	0.214	0.203	0.463	0.227

Nilai Deformasi Maksimum

Deformasi arah	Node	Deformasi (cm)
X	20	0.451
Y	23	0.424
Z	85	0.379



Lampiran 5. Tabel tegangan pada helm standar dari arah atas

Node	SX (Pa)	SY (Pa)	SZ (Pa)	SXY (Pa)	SYZ (Pa)	SXZ (Pa)
6	-82.864	-583.31	-67.487	5.4096	65.153	69.035
7	-112.26	-624.54	-49.456	-7.4950	66.708	68.796
8	-1220.0	-50.027	-1237.0	3.1689	8.9295	9.4068
9	-17.640	-205.77	-13.866	52.961	1.4795	-0.34195
10	-69.789	-204.60	21.368	114.74	1.4757	-0.72920
11	-309.97	-332.04	8.8647	310.68	0.13595	0.49006
12	-414.88	-142.66	-130.85	230.60	0.87739	-1.3626
13	-889.16	-79.079	-699.70	227.05	4.2902	6.9261
24	-369.13	-133.88	112.66	-216.54	2.9497	7.0911
40	-106.33	-13.233	-7.0411	26.181	-9.4824	15.221
41	-47.086	-10.859	2.0753	82.482	0.29517	32.394
42	-52.294	5.7606	4.7022	55.476	6.2884	24.902
43	-71.473	6.4871	4.2362	35.808	5.6574	17.491
44	-34.233	-48.277	-2.3081	104.06	-11.558	34.174
45	-24.545	-111.87	-5.9951	116.26	-25.954	29.530
46	-24.010	-205.03	-6.6564	114.13	-36.469	20.665
47	-4.5654	-396.30	-4.6762	76.240	-39.237	9.3249
55	-258.70	-165.16	-31.019	-206.60	124.88	191.01
56	-360.20	-216.28	-51.102	272.69	133.09	-193.30
57	-300.22	-107.29	-251.54	175.30	156.42	-323.57
58	-61.617	-289.78	-42.837	-165.14	168.26	145.79
59	-46.519	-542.10	-108.45	124.99	46.128	14.394
60	114.61	-284.36	-296.32	-0.41609	285.58	24.993
61	-53.503	-241.81	-193.17	-154.84	231.38	203.24
62	36.050	-360.64	-89.642	-84.662	201.31	92.388
63	-59.541	-372.04	-188.48	193.37	275.28	-180.68
64	-51.050	-191.73	-338.96	156.61	254.44	-253.44
65	-257.58	-351.22	-17.673	292.40	101.37	-95.196
70	32.642	-293.96	-286.85	130.12	293.79	-172.78
71	-39.547	-322.00	77.368	-117.09	32.775	34.235
72	107.22	-276.67	-345.75	64.026	303.03	-85.315
73	-82.523	-476.29	-116.93	202.69	240.60	-117.18
74	-49.070	-550.07	-98.853	98.404	79.533	27.647
75	-5.7677	-318.79	75.729	-49.643	12.775	20.605
190	93.453	-405.00	-124.55	21.740	222.63	-96.935
191	-0.6901	-436.47	-168.93	147.69	281.97	-127.84
192	42.887	-126.04	5.7320	62.702	-45.587	63.562
193	52.487	-81.996	-0.14870	53.526	-35.013	58.875
194	-149.22	-693.40	-34.778	-11.617	-57.143	-66.616
195	-116.26	-644.46	-52.149	-8.2098	-70.535	-71.771
196	-86.625	-602.92	-70.405	6.7738	-69.236	-71.777
197	-62.471	-581.45	-92.963	28.009	-61.177	-68.452
198	-38.535	-569.16	-116.20	48.522	48.522	-48.140

199	-19.036	-561.59	-133.86	63.796	-26.905	-32.103
200	151.10	2.5081	-3.7736	62.641	-4.3721	-35.052
201	-151.71	-683.51	-16.640	9.6510	-23.235	-28.357
202	-94.539	-566.35	-5.5725	46.634	16.616	-21.646
203	-0.86517	-389.23	-4.7218	76.234	39.106	-9.3066
204	87.120	-216.48	-6.3780	93.550	36.939	-13.980
205	141.57	-86.986	-4.2116	93.890	19.452	-25.290
206	160.50	-15.715	1.1602	80.127	1.4282	-33.382
207	65.061	-21.539	-8.6759	20.442	13.830	-17.828
208	75.064	-33.955	-9.5425	33.166	18.248	-24.030
209	108.07	-21.056	-2.9974	47.409	8.6655	-30.806
210	23.716	-6.7199	-19.039	-10.122	12.878	4.6066
227	-49.391	-545.76	-107.74	130.17	-46.530	-13.704
228	-54.441	-161.58	-386.09	145.25	-245.59	259.44
229	102.06	-106.86	-484.15	9.2958	-226.34	15.936
230	-414.23	-172.97	-189.89	-249.32	-109.26	-113.68
231	-59.574	-218.63	10.879	110.99	-51.131	34.227
232	-302.20	-95.955	-260.82	169.05	-146.78	330.54
233	-375.49	-170.84	-188.68	235.09	-117.48	124.75
382	103.70	-273.91	-334.41	-26.553	-235.94	27.377
383	43.501	-232.88	-241.14	-28.114	-274.37	-57.607
384	70.650	-317.61	-302.01	89.458	-309.03	111.26
385	75.764	-389.47	-231.30	75.288	-298.92	72.483
386	81.699	-300.90	-19.565	25.145	-106.73	43.086
387	116.79	-387.74	-189.39	12.978	-216.07	-23.182

Nilai Tegangan Maksimum

Jenis tegangan	Node	Tegangan (MPa)
Sx	206	16050E-4
Sy	43	64871E-2
Sz	24	11266E-4
Sxy	11	31068E-4
Syz	72	30303E-4
Sxz	232	33054E-4



Lampiran 6. Tabel tegangan pada helm standar dari arah samping

Node	SX (Pa)	SY (Pa)	SZ (Pa)	SXY (Pa)	SYZ (Pa)	SXZ (Pa)
191	343.17	545.36	-52.340	-537.74	-126.40	257.59
192	209.55	134.91	-139.18	-372.21	-120.60	-118.41
193	190.20	-48.493	-87.179	-152.34	-106.27	-22.196
194	623.98	7363.7	51.450	-1034.6	123.29	141.66
195	-67.463	6669.6	13.559	-424.24	431.67	-67.859
196	269.79	5473.8	253.14	-331.18	389.72	212.18
200	5956.7	3114.2	627.82	-59.749	-1372.0	-298.59
201	1163.6	4553.9	108.31	-455.01	21.344	335.96
202	-464.37	1496.8	22.991	-589.11	-74.194	26.348
203	469.02	-1414.1	-54.237	2944.1	345.97	-292.81
204	2334.8	-1294.7	-77.263	1018.8	374.44	18.029
205	3995.4	3114.6	232.40	-15.117	-837.98	-24.401
206	6753.6	2591.4	226.01	-1301.4	-753.04	189.06
207	3180.3	812.30	445.11	39.315	-593.81	-197.80
208	4843.7	155.08	99.933	47.094	-114.89	-317.69
209	5483.8	-587.49	-136.74	-279.75	304.54	-203.84
210	-100.22	391.67	540.74	-126.51	-469.72	207.83
211	2170.1	1352.4	909.32	-204.08	-1102.4	41.758
212	1657.5	1527.1	1258.9	-300.87	-1379.0	148.64
213	789.41	1102.1	1116.5	-132.27	-1103.6	53.207
214	760.49	-228.35	-400.65	-388.18	315.15	312.74
215	671.20	-125.00	-250.27	-203.89	194.04	91.069
262	-4930.9	-7098.5	-1752.8	-278.71	-3211.9	896.35
263	-238.19	27.219	-789.84	-330.38	-339.14	-477.00
264	54.919	766.37	-560.06	-262.37	-262.37	-262.37
265	4.5073	715.08	-812.97	-407.15	353.70	270.57
266	-4240.6	-4014.6	-2109.9	377.54	-2254.3	1990.2
267	-3768.8	-1248.7	-1560.4	722.51	-981.62	2171.9
268	-814.79	318.08	-1323.0	-324.40	412.74	1020.1
269	267.57	1265.5	-197.29	-711.13	-85.808	-126.11
279	-971.09	-63.130	-1189.8	-826.86	805.46	1068.1
280	-6246.0	-5696.9	-1421.0	149.81	-2208.1	1798.9
281	-6986.7	-1231.7	-1592.3	401.65	-270.75	3266.5
282	-4682.8	-2185.4	-640.81	-2153.7	-1233.7	-1131.0
283	243.94	4111.6	53.527	-729.28	252.52	-12.253
284	92.762	1563.4	-191.31	-764.29	27.276	-251.86
285	-4388.4	3345.2	-190.41	-1980.1	335.23	-1303.8
286	271.98	770.84	-439.21	-543.29	277.70	58.434
287	-6984.2	-3629.3	-506.30	-4209.2	-1432.6	-1028.8
288	-219.53	2109.7	-93.595	-655.05	287.12	-333.13
289	-887.26	2816.4	-229.69	-1650.6	182.54	-791.27
290	583.91	909.27	-191.06	-754.95	28.051	87.437
350	-6613.8	635.32	-76.621	-465.14	223.85	796.32

351	-4139.1	-1879.9	24.979	-1749.5	276.10	-551.84
352	1365.8	-5876.7	-47.589	-2908.8	724.50	-146.43
353	1443.7	-4447.5	-211.83	-3370.9	1226.9	184.53
354	1792.5	-1639.6	-198.74	-1684.4	756.72	69.366
355	964.39	422.33	199.77	-630.56	-286.28	414.74
368	-296.85	-511.01	-814.62	-699.29	677.80	686.98
369	-3653.0	-3436.7	-1189.4	-836.92	-1885.2	-1065.8
370	-3511.3	-1236.7	-1141.6	-1071.6	697.23	1948.7
371	-9940.7	-2609.9	-875.35	82.421	-393.68	2730.5
372	-7116.4	-3065.8	-1115.2	-1228.0	459.29	2726.6
373	-8232.6	-7285.6	-999.69	585.69	-2203.2	1701.2
374	-3722.2	-93.461	-1449.3	205.75	-26.500	2328.7
375	-6210.0	-10471.	-1298.1	-1058.7	-3467.7	133.04
376	-2240.9	-1757.7	-1237.5	-457.38	-1304.5	-1026.2
377	-4269.0	-6732.7	-1315.7	-963.17	-2899.6	-617.23
378	-1614.6	173.00	-1273.0	25.947	77.387	1436.2
379	-2196.5	-2020.4	-1771.7	-218.10	-1306.2	1214.2
380	-1681.8	-658.77	-1420.9	219.46	-653.38	1327.7
381	-1888.1	-1889.9	-1890.7	-43.576	-1574.3	939.08
382	-82.775	-1283.8	-1605.9	-326.32	-1418.9	-367.69
383	-597.04	-1360.3	-1566.4	83.692	-1397.4	312.30
384	-594.65	-988.42	-1406.0	-515.95	-1138.1	-748.50
385	-1020.7	-1775.5	-1348.5	-725.10	-1505.9	-798.70

Nilai Tegangan Maksimum

Jenis tegangan	Node	Tegangan (MPa)
Sx	206	67536E-5
Sy	194	73637E-5
Sz	212	12589E-5
Sxy	203	29441E-5
Syz	353	12269E-5
Sxz	281	32665E-5



Lampiran 7. Tabel tegangan pada helm standar dari arah belakang

Node	SX (Pa)	SY (Pa)	SZ (Pa)	SXY (Pa)	SYZ (Pa)	SXZ (Pa)
10	-776.56	-2315.7	170.02	1283.7	-13.663	7.5588
11	-1368.0	-1406.7	528.27	1347.3	-6.0652	5.0174
12	1916.5	-675.09	819.42	1099.1	-0.39013	-4.9661
13	-2375.5	-201.80	1033.8	633.97	-0.29387	-19.252
14	-4768.5	-3664.1	-1971.6	4168.4	-0.55409	4.5729
15	-282.95	-604.74	-776.17	400.36	-8.7634	-8.7634
16	-282.95	-604.74	-776.17	400.36	-8.7634	-8.7634
17	-367.54	-1695.4	-1570.3	750.02	-5.0319	6.7505
18	-251.28	-3326.9	-2934.5	801.08	13.716	7.9777
19	-71.506	-2594.4	-1362.3	668.19	-51.227	24.716
20	-869.65	-10868.	-13350.	-2302.1	10.416	13.873
21	-1914.7	-11059	-8195.6	-4311.0	-8.3364	-32.272
22	-2265.5	-4379.6	1014.2	-3096.1	-27.897	-24.491
23	-3179.5	-2649.5	1255.6	-2848.4	-26.923	-24.719
24	-3645.2	-1159.2	1054.8	-1991.6	-20.752	-23.714
25	-3585.8	-304.69	943.90	-952.30	-10.485	-13.942
26	868.94	253.06	238.70	-311.51	201.35	-55.218
27	-4659.9	-3339.4	-1597.9	3900.8	-53.217	-283.12
28	-21.544	387.98	-128.33	-238.51	502.67	-663.61
29	-4001.2	-1969.2	-515.98	2699.6	-66.033	-290.19
30	141.07	588.16	888.40	-240.19	718.82	-267.72
31	372.45	524.64	846.91	-219.44	602.97	-46.223
32	554.38	428.04	652.17	-214.94	458.62	35.926
33	770.21	391.11	469.30	-312.19	366.12	-36.471
34	-659.51	-198.92	-90.380	47.290	-132.83	2.6030
35	896.25	102.74	80.534	-212.74	64.057	1.3607
36	818.46	58.908	54.195	-132.78	39.714	28.077
37	582.91	20.149	24.391	-43.235	15.202	45.556
38	398.64	7.7217	13.450	1.5398	8.0448	45.751
39	171.13	-5.8158	1.7722	36.969	-2.3454	47.815
40	-133.36	-50.714	-25.452	58.966	-36.018	41.339
71	-1624.8	-3277.5	-3439.2	-2189.8	-3626.1	-2316.6
77	-544.98	-1591.0	-1406.8	869.70	818.22	-634.12
78	-475.45	-4201.9	-7335.4	489.22	1822.3	-1541.7
79	-3151.9	-652.14	-2187.9	-1802.2	-2296.1	-2915.7
80	896.30	-2117.6	251.87	1421.5	-485.54	121.58
81	-2111.5	-540.44	-5189.6	-900.71	-1250.8	-3148.4
82	-509.51	-3011.0	-3313.6	985.84	1306.2	-998.57
83	-2408.0	959.77	-3122.9	37.619	-409.20	-2767.5
84	-2825.0	974.60	-2103.4	-189.53	-840.33	-2626.4
85	-3104.4	1418.6	-688.37	427.04	-614.53	-1902.6
123	-4463.5	988.58	-1157.0	1141.3	399.68	-2240.4

124	-4552.8	1701.7	-73.391	638.94	157.31	-517.92
125	-3850.6	2125.5	-332.72	983.34	178.60	-1090.5
126	-3889.2	1371.2	38.625	2150.5	-357.54	-74.772
127	-4390.8	1515.4	29.020	1900.9	-340.65	-17.830
128	-609.99	442.09	484.35	140.54	140.54	-756.91
129	-3476.3	374.77	-47.535	1944.9	-347.55	397.91
130	-2747.2	1992.6	-819.51	557.09	780.42	-1576.8
201	-2865.1	-540.10	-104.65	1519.1	311.63	-538.03
202	-3753.9	-683.93	-64.114	985.13	178.07	-447.52
203	-4214.9	-889.33	-43.461	464.85	178.34	-223.73
204	-4158.7	-981.09	-70.525	16.528	256.17	36.124
205	-3662.4	-967.59	-129.45	-283.90	342.75	239.17
206	-941.39	-248.95	-116.90	25.346	168.38	31.268
207	-1672.9	-480.78	-181.25	-71.648	289.64	139.43
240	-3121.8	258.14	649.89	252.87	441.92	485.96
241	-1520.0	-3211.7	-3444.0	-2116.4	3597.3	2236.4
242	-1382.0	-134.74	873.12	697.23	481.88	-54.767
243	-3057.7	428.51	617.37	-99.961	711.15	1054.0
244	-3700.9	280.17	455.35	-320.86	594.48	-662.64
245	-3970.5	198.62	-31.034	-869.10	935.03	1696.1
246	-3161.7	-899.03	-675.16	-1768.4	1331.2	1856.0
247	-2803.2	585.03	-2490.4	-521.72	1042.5	2789.0
248	-2046.7	-835.44	-5521.9	-1023.9	1335.5	3170.0
249	-898.15	-5926.5	-10308.	-1164.3	652.51	2412.6

Nilai Tegangan Maksimum

Jenis tegangan	Node	Tegangan (MPa)
Sx	35	89625 E-4
Sy	125	21255 E-5
Sz	23	12556 E-5
Sxy	14	41684 E-5
Syz	241	35973 E-5
Sxz	248	3170E-6



Lampiran 10. Tabel tegangan *Von misses* arah belakang

Node	Tegangan Von Misses (pa)
16	121.18
17	181.67
18	321.44
19	718.11
20	818.14 <i>max</i>
21	111.14
22	717.65
23	647.64
24	533.74
25	437.53
161	318.60
162	309.21
163	198.42
164	269.06
165	110.17 <i>min</i>
166	497.71
167	119.18
168	462.92
169	745.32



Lampiran 9. Tabel tegangan Von misses arah Samping

Node	Tegangan Von Misses (pa)
44	553.86
45	249.42
46	170.54
47	844.03 <i>Max</i>
48	172.63
49	357.93
50	605.04
51	433.00
52	564.07
346	120.47
347	132.98
348	118.35
349	162.16
350	109.35 <i>min</i>
351	286.34
352	127.94
353	504.03
354	814.86

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 8. Tabel tegangan Von misses arah atas

Node	Tegangan Von Misses (pa)
5	515.43
6	534.32
7	571.19
8	642.67 <i>max</i>
9	523.30
10	576.74
11	631.46
12	117.88
34	90.724
35	45.266
36	40.762
37	40.733 <i>min</i>
38	44.543
39	51.668
40	66.469
41	159.71
42	120.51
43	103.77

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

