

TUGAS AKHIR

**SIMULASI PROSES *DEEP DRAWING* DENGAN
PELAT JENIS *TAILORED BLANK***



Disusun :

MOHAMAD YUSA' SHOFIYANTO

NIM : D 200 030 077

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
Oktober 2009**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

Simulasi Proses *Deep Drawing* Dengan Pelat Jenis *Tailored Blank*

yang dibuat untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan/atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 10 Oktober
2009
Yang menyatakan,

Mohamad Yusa'

Shofiyanto

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini telah disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir untuk dipertahankan di depan Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S-1 Teknik Mesin di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, pada :

Dipersiapkan oleh :

Nama : **MOHAMAD YUSA' SHOFIYANTO**

NIM : **D 200 030 077**

Disetujui pada

Hari :

Tanggal :

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Tri Widodo Besar Riyadi, ST, MSc.

Bambang Waluyo Febriantoko, ST, MT.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir berjudul “**Simulasi Proses *Deep Drawing* pada Pelat Jenis *Tailored Blank***” ini telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan dinyatakan sah untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan Oleh

Nama : **MOHAMAD YUSA' SHOFIYANTO**

NIM/NIRM : **D 200 030 077**

Disahkan Pada

Hari :

Tanggal :

Tim Penguji :

Ketua : Tri Widodo Besar Riyadi, ST, MSc.

Anggota 1 : Bambang Waluyo Febriantoko, ST, MT.

Anggota 2 : Ir. Agung Setyo Darmawan, MT.

Dekan,

Ketua Jurusan,

Ir. Sri Widodo, MT

Marwan Effendy, ST, MT

LEMBAR MOTTO

“Sesungguhnya Allah tiadak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

(QS AR RA'D : 11)

”Sebaik-baik dari kamu adalah siapa yang mempelajari Al Qur'an dan mengajarkannya”

“Barang siapa berjalan di suatu jalan untuk menuntut ilmu maka Allah akan mempermudah jalan ke surga”.

(H. R. Muslim)

”Istiqomah lebih dari pada seribu Karomah”

LEMBAR DEDIKASI

Karya ini adalah hasil dari perjuangan yang sangat melelahkan, dengan kesabaran, ketekunan dan doa karya ini menjadi sebuah karya yang manis.

Karya ini kudedikasikan kepada :

- ❖ Bapakku (Suwoto) dan Ibu (Roisyah) tercinta, pengorbanan, perhatian, kasih sayang, dorongan semangat serta do'a restu dari Bapak dan Ibu membuat semangat yang berkobar dalam diri ini.
- ❖ Bapak KH. M Dian Nafi, yang selalu sabar dan tulus membimbing penulis ke arah kemajuan duniawi dan ukhrowi
- ❖ Kakakku (M. Yusron Zaenuddin) dan adikku (Yusnita Iftah Farikha) tercinta, terima kasih atas do'a, dukungan agar terus maju.
- ❖ Rekan-rekan laboratorium (Agus, Fajar, Budi, dan Alfian) yang selalu

setia membantu dalam
penyelesaian TA ini

- ❖ Rekan-rekan teknik mesin angkatan 2003.
- ❖ Rekan-rekan santri Al Muayyad Windan
- ❖ Almamaterku.

ABSTRAK

Tujuan yang ingin didapat dari simulasi ini yaitu mengetahui fenomena pada proses deep drawing khususnya pada plat jenis tailored blank yang menggunakan pelat 0,8 mm dan 1 mm Sehingga dapat dilakukan permodelan desain deep drawing untuk optimasi hasil draw piece.

Pada simulasi ini, model yang digunakan adalah square cup deep drawing dengan dimensi model dies, diameter atas d_1 : 180 mm, diameter tengah d_2 : 80 mm, diameter bawah d_3 : 60 mm, kedalaman h_1 : 10 mm, kedalaman tengah h_2 : 10 mm dengan radius 135° , dan kedalaman bawah h_3 : 10 mm. Bahan Tailored Welded Blanks (TWB) yang digunakan yaitu pelat baja (mild steel) dengan ketebalan 1 mm dan 0,8 mm kemudian di las. Diameter benda uji (blank) yang digunakan yaitu : 160 mm.

Secara umum, hasil simulasi deep drawing pada tailored blank menunjukkan bagian yang paling besar meregangnya adalah pada bagian dinding. Pada bagian dinding; berdasarkan hasil pengujian memberikan keterangan bahwa pada pelat dengan ketebalan 0,8 mm (pelat tipis) terjadi cacat wrinkling. Sedangkan pada ketebalan 1 mm tidak terjadi. Hal ini terjadi karena pada ketebalan 0,8 mm terdapat celah (clearance) antara punch, blank, dan dies sehingga terjadi regangan positif (tarik) dan regangan negatif (tekan) yang mengakibatkan cacat kerut pada dinding cup. Pada bagian atas cup (sis) masih terdapat cacat wrinkling. Hal ini terjadi karena gaya tekan dari blank holder kurang kuat, sehingga blank holder tidak mampu menjepit blank dengan baik.

Kata-kata kunci: *tailored blank, deep drawing*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian ini dapat diselesaikan.

Tugas Akhir berjudul “**Simulasi Proses Deep Drawing pada Pelat Jenis Tailored Blank**” dapat terselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis dengan segala ketulusan dan keikhlasan hati ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Sri Widodo, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Marwan Effendy, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Tri Widodo Besar Riyadi, ST, MSc. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan saran hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Bambang Waluyo Febriantoko, ST, MT. selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Semua pihak yang telah membantu, semoga Allah membalas kebaikanmu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca akan penulis terima dengan senang hati.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surakarta, November 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian Skripsi	ii
Halaman Persetujuan	iii
Halaman Pengesahan	iv
Lembar Soal Tugas Akhir	v
Lembar Motto	vi
Lembar Dedikasi	viii
Abstrak	ix
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	4
1.4. Lingkup Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Kajian Pustaka	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Pengertian <i>tailored welded blank</i> (TWB)	6
2.2.2. Joining atau Penyambungan	8
2.2.3. Teori Elastisitas dan Plastisitas Pelat	10
2.2.4. Tegangan	11
2.2.5. Regangan	13
2.2.6. Demorfasi	14
2.2.7. Perubahan Ketebalan	17
2.2.8. Perbandingan Tegangan dan Regangan	19
2.2.9. Ketebalan	20
2.2.10. Pengertian <i>Deep Drawing</i>	20
2.2.11. Proses <i>Deep Drawing</i>	21
2.2.12. Komponen Utama <i>Die Set</i>	25
2.2.13. Variabel Proses <i>Deep Drawing</i>	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1. Metodologi Penelitian	34
3.2. Pengertian ABAQUS/ CAE	35
3.2.1. <i>Preprocessing</i>	39
3.2.2. Simulasi	42
3.2.3. <i>Post Processing</i>	42

3.3. Pemodelan Dengan ABAQUS CAE	43
3.3.1. Cara Pemodelan Dengan ABAQUS CAE	44
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 63
4.1. Hasil Uji Tarik	63
4.1.1. Hasil Uji Tarik dengan Sudut Sambungan 0°	63
4.2.2. Hasil Uji Tarik dengan Sudut Sambungan 45°	71
4.2.3. Hasil Uji Tarik dengan Sudut Sambungan 90°	76
4.2. Hasil Uji <i>Deep Drawing</i>	81
4.2.1. Simulasi	82
4.2.2. Hasil eksperimen	85
4.2.3. Analisis grafik gaya penekanan terhadap waktu penekanan	86
 BAB V PENUTUP	 89
5.1. Kesimpulan	89
5.2. Saran	90
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	hal
Gambar 2.1. Panel bodi mobil	7
Gambar 2.2. Skema proses stamping dengan konsep <i>tailored welded blank</i>	8
Gambar 2.3. Klasifikasi pengelasan	9
Gambar 2.4. Diagram tegangan regangan	16
Gambar 2.5. Garis Modulus	17
Gambar 2.6. Komponen variabel dalam perhitungan regangan	18
Gambar 2.7. Prinsip tegangan dan regangan untuk elemen yang terdeformasi	20
Gambar 2.8. <i>Blank</i> dan <i>draw piece</i>	21
Gambar 2.9. Proses <i>deep drawing</i>	22
Gambar 2.10. Beberapa bentuk <i>draw piece</i>	25
Gambar 2.11. Bagian utama <i>die drawing</i>	27
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian	35
Gambar 3.2. Diagram alir proses <i>running</i>	37
Gambar 3.3. Hubungan kerja <i>Preprocessor</i> , <i>Solver</i> dan <i>Postprocessor</i>	51
Gambar 3.4. ABAQUS <i>Licensing Tool</i>	45
Gambar 3.5. Sket <i>Punch</i>	46
Gambar 3.6. Sket <i>Die</i>	47
Gambar 3.7. Sket <i>Blank Holder</i>	48
Gambar 3.8. Sket <i>Blank</i> Tebal	49
Gambar 3.9. Sket <i>Blank</i> Tipis	50
Gambar 4.1. Diagram tegangan regangan nominal sudut sambungan pelat 0°	65
Gambar 4.2. Karakteristik hubungan tegangan regangan	66
Gambar 4.3. Dekomposisi <i>total strain</i> ke komponen plastic elastic	69
Gambar 4.4. Diagram tegangan regangan sebenarnya sudut sambungan pelat 0°	70
Gambar 4.5. Hasil simulasi dan eksperimen produk uji tarik <i>tailored blank</i> sudut sambungan 0°	71
Gambar 4.6. Diagram tegangan regangan nominal sudut sambungan pelat 45°	72
Gambar 4.7. Diagram tegangan regangan sebenarnya sudut sambungan pelat 45°	73
Gambar 4.8. Hasil simulasi dan eksperimen produk uji tarik <i>tailored blank</i> sudut sambungan 45°	75
Gambar 4.9. Diagram tegangan regangan nominal sudut sambungan pelat 90°	76
Gambar 4.10. Diagram tegangan regangan sebenarnya sudut sambungan pelat 90°	77
Gambar 4.11. Hasil simulasi dan eksperimen produk uji tarik <i>tailored blank</i> sudut sambungan 90°	79

Gambar 4.12. Diagram kombinasi tegangan regangan nominal dari tiga sudut sambungan	80
Gambar 4.13. Hasil simulasi <i>deep drawing</i> dengan pelat <i>tailored blank</i>	83
Gambar 4.14. Hasil eksperimen <i>deep drawing</i> dengan pelat <i>tailored blank</i>	85
Gambar 4.15. Grafik gaya penekanan terhadap waktu pada pelat homogen 1 mm	86
Gambar 4.16. Grafik gaya penekanan terhadap waktu pada pelat homogen 0.8 mm	87
Gambar 4.17. Grafik gaya penekanan terhadap waktu pada pelat <i>tailored blank</i>	87
Gambar 4.18. Grafik langkah penekanan terhadap waktu	88

DAFTAR TABEL

hal	
Tabel 4.1. Nilai tegangan-regangan nominal sudut sambungan pelat 0^0	59
Tabel 4.2. Nilai tegangan-regangan sebenarnya sudut sambungan 0^0	69
Tabel 4.3. Nilai tegangan-regangan nominal sudut sambungan pelat 45^0	72
Tabel 4.4. Nilai tegangan-regangan sebenarnya sudut sambungan 45^0	73
Tabel 4.5. Nilai tegangan-regangan nominal sudut sambungan pelat 90^0	76
Tabel 4.6. Nilai tegangan-regangan sebenarnya sudut sambungan 90^0	77
Tabel 4.7. Nilai plastisitas material	81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong terciptanya suatu produk yang baru dan memiliki kualitas yang baik. Pada industri manufaktur hal ini menjadi masalah yang sangat penting karena dalam proses manufakturnya banyak sekali kendala yang harus dipecahkan agar tercipta suatu produk yang bermutu tinggi.

Dalam sebuah perusahaan, proses pengembangan produk merupakan sebuah mata rantai penting untuk mempertahankan eksistensi dan kelangsungan hidup perusahaan. Hal ini tentu akan memberikan masukan kepada pihak manajemen perusahaan untuk senantiasa melakukan langkah-langkah strategis bagi peningkatan kualitas dan pengembangan produk. Peningkatan kualitas produk dapat dicapai melalui desain yang tepat dengan mempertimbangkan fungsi yang dibutuhkan dan dapat disesuaikan dengan aspek-aspek manufaktur.

Sheet metal forming adalah sebuah proses yang bertujuan agar pelat atau material mengalami *deformasi plastis* sehingga terbentuk komponen dari desain yang diinginkan. Penggunaan *sheet metal forming* menjadi teknik pembentukan yang efektif karena dapat menggantikan proses permesinan dan pengelasan. Komponen yang dihasilkan *sheet metal forming* dari bentuk yang sangat sederhana sampai bentuk-bentuk

rumit dan kecil seperti yang diperlukan industri elektronik dan menghasilkan komponen besar seperti bodi mobil pada industri otomotif.

Perusahaan yang bergerak didalam industri *sheet metal forming* membutuhkan suatu metode yang baik agar dalam proses manufakturnya tidak terjadi banyak kesalahan. Banyak dari industri manufaktur masih menggunakan perhitungan yang manual sehingga membuat hasil dari *try-out* sering kali tidak sesuai dengan yang diharapkan.

Pada proses *metal forming* dikenal istilah *deep drawing*. Pada proses *deep drawing*, gaya diberikan untuk menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam yang disebut dengan *blank* dan dijepit di antara *blank holder* dan *die*. Sehingga terjadi peregangan mengikuti bentuk *dies*, bentuk akhir ditentukan oleh *punch* sebagai penekan dan *die* sebagai penahan benda kerja saat ditekan oleh *punch* (Ahmad Hasnan.S,2006).

Berkembangnya teknologi *hardware* dan *software* pada komputer sangat membantu dalam proses manufaktur karena dapat mensimulasikan perhitungan numerik dan memvisualisasikan hal-hal yang mungkin terjadi pada proses *manufacturing* yang selanjutnya dapat diaplikasikan di lapangan. Teknologi digital pendukung proses rekayasa dan pengembangan produk seperti halnya *Computer Aided Design* (CAD), *Computer Aided Manufacturing* (CAM), *Computer Aided Engineering* (CAE) sangat membantu sekali untuk terciptanya produk yang berkualitas tinggi. Terdapat beberapa perangkat lunak (*software*) yang dapat digunakan dalam proses *manufacturing* seperti, ABAQUS, CATIA, PRO ENGINEER, AUTOCAD, INVENTOR, SOLIDWORKS, NASTRAN, LS

DYNA, MARC dan lain sebagainya. Proses pembuatan dengan proses *deep drawing* seperti halnya pada pembuatan komponen *autobody* suatu jenis kendaraan ini dapat analisis dengan salah satu perangkat lunak (*software*) yaitu ABAQUS.

Pada proses *deep drawing* banyak kegagalan terjadi dalam proses manufakturnya seperti halnya plat sobek, cacat kerut (*wrinkling*) , adanya gaya *springback* yang dapat menjadikan *draw piece* tidak sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Hal ini dapat di tanggulangi dengan *software* ABAQUS, karena didalam ABAQUS dapat dianalisa hal-hal yang mungkin terjadi selama proses *drawing* sehingga dapat menghasilkan *draw piece* yang memiliki kualitas yang baik.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dalam proses simulasi *deep drawing* ini sebagai berikut :

1. Mengetahui fenomena pada proses *deep drawing* khususnya pada plat jenis tailored blank.
2. Mengetahui sifat elastis plastis pelat jenis tailored blank yang menggunakan sudut sambungan 0^0 , 45^0 , 90^0 hasil simulasi uji tarik.
3. Mengetahui hasil simulasi proses *deep drawing* pelat tailored blank yang menggunakan pelat 0,8 mm dan 1 mm.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Agar dapat memberikan kontribusi untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.
2. Agar dapat dijadikan pemeriksaan awal pada proses *deep drawing* tentang berapa besarnya dimensi yang sesuai, berapa gaya *punch* yang seharusnya diberikan dan cara mengatasi cacat *wrinkling* pada material dengan perangkat lunak berbasis metoda elemen hingga.
3. Agar dapat dijadikan sebagai parameter dalam industri *manufacturing* untuk pengontrolan produksi dan optimasi desain.

1.4. Lingkup Penelitian

Dalam penyusunan laporan ini agar lebih terarah, maka perlu adanya pembatasan masalah, dikarenakan kondisi nyata di lapangan yang sangat kompleks. Oleh karena itu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis hanya membatasi pada :

1. Analisis dan simulasi dilakukan menggunakan *software* ABAQUS 6.5-1.
2. Jenis material yang digunakan adalah plat jenis *tailored blank*.
3. Penelitian ini difokuskan hanya untuk mengetahui hasil simulasi uji tarik, hasil simulasi *deep drawing*, serta distribusi tegangan regangan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Siswanto W.A (2001) menyatakan proses pembentukan lembaran logam atau pelat (*sheet metal forming*) adalah proses penekanan pelat datar sesuai dengan permukaan *dies* sampai tahap deformasi plastis pelat, sehingga terbentuk komponen baru sesuai dengan permukaan *dies*.

Chaparro, dkk (2002) meneliti tentang *square cup deep drawing* dan menyatakan bahwa mudah untuk mengamati secara global atau memerinci informasi tentang evolusi parameter besarnya deformasi menggunakan GID, ini meliputi parameter keadaan pada node dan pengintegrasian titik. Hasil interaksi antara *pre* dan *post processor* GID dengan *solver* DD31MP dikembangkan di CEMUC dan telah di uji. Perangkat lunak GID telah digunakan untuk mensimulasikan geometri awal pada *sheet metal* kemudian dilakukan seluruh tugas *post-process* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan. Program dapat digunakan untuk memecahkan suatu permasalahan yang nyata pada industri *sheet metal forming*.

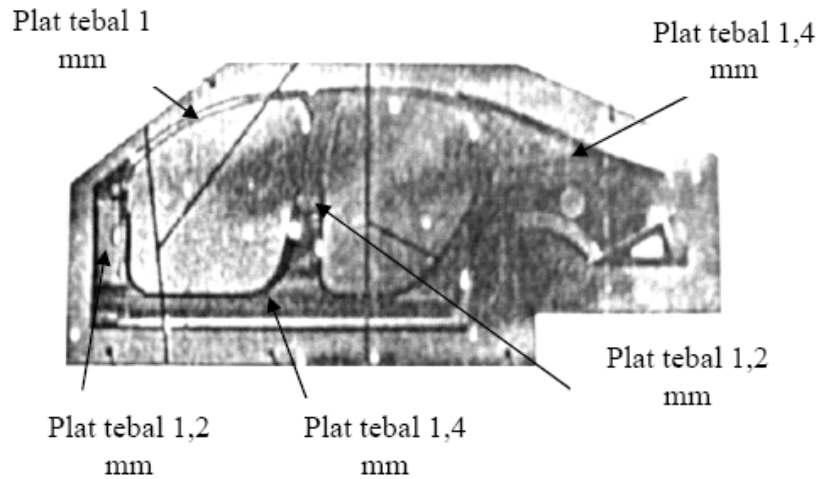
2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pengertian *Tailored Welded Blanks* (TWB)

Tailored Welded Blanks adalah gabungan dari dua lembaran metal atau lebih dengan ketebalan (*thickness*) berbeda dimana proses penyambungannya menggunakan las. Konsep dari TWB digunakan di industri otomotif untuk menggantikan proses *stamping* yang jumlahnya banyak. Selain itu, konsep TWB juga mempunyai banyak keuntungan. Keuntungan dari penggunaan *Tailored Welded Blanks* adalah :

1. Mengurangi berat produk, karena konsep *Tailored Welded Blanks* tidak menggunakan metode pengelasan tumpang seperti pada pengelasan titik (*Spot Welding*) tetapi menggunakan sambungan 8 tumpul sehingga material (*drawpiece*) yang digunakan menjadi lebih sedikit.
2. Mengurangi biaya produksi, karena jumlah penggunaan *dies*, material sisa yang terbuang dapat dikurangi.
3. Mengoptimalisasi penggunaan *dies*, sehingga proses produksi dapat lebih cepat.
4. Memperbaiki kualitas produk, karena penggunaan las laser dapat meningkatkan kekuatan atau daya tahan tumbukan (*Crashworthiness*) jika dibandingkan dengan pengelasan titik (*Spot Welding*).

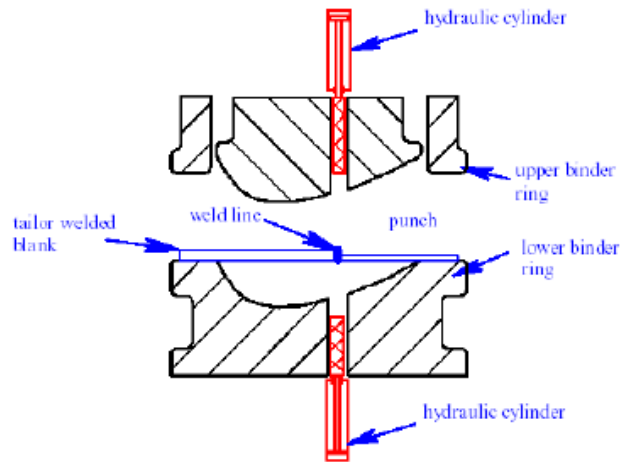
Contoh penggunaan konsep *tailored welded blanks* banyak dijumpai pada pembuatan komponen bodi mobil, seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.1. Panel bodi mobil (Andy P, 2001)

Gambar 2.1 menunjukkan bagian-bagian dari kerangka mobil. Pada industri bodi mobil biasanya, dalam pembuatan kerangka tersebut menggunakan metode *forming* terlebih dahulu kemudian di-*assembly* sehingga membutuhkan banyak proses *stamping*, di antaranya: *bending*, *drawing*, *triming*, *flanging*. Hal ini juga membutuhkan *dies* atau alat cetakan yang banyak, sehingga penggunaan *dies* kurang optimal dan biaya produksi tidak efisien. Maka dari itu, dengan metode penyambungan (*assembly*) terlebih dahulu kemudian dilakukan proses pembentukan (konsep TWB), penggunaan *dies* dapat dioptimalkan sehingga peningkatan efisiensi biaya produksi dapat dicapai.

Untuk mengetahui lebih jelas mengenai penggunaan konsep *tailored welded blanks* pada proses *stamping*, maka dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema proses stamping dengan konsep *tailored welded blanks* (Jian Cao, 1999)

2.2.2. *Joining* atau Penyambungan

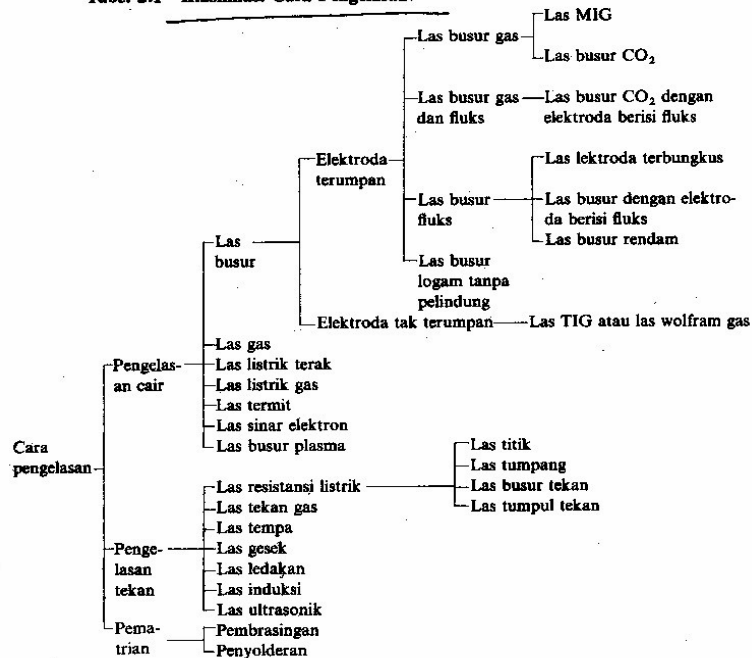
Ada beberapa cara untuk melakukan penyambungan yaitu dengan cara dilas, dipatri, disolder, dan dikeling. Adapun dalam penelitian ini, dalam proses penyambungannya menggunakan las. Pengelasan adalah proses penyambungan dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Logam di sekitar lasan mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan : metalurgi, deformasi, tegangan termal.

Hal ini erat hubungannya dengan : ketangguhan, cacat las, retak, keamanan konstruksi yang dilas.

Berdasarkan cara kerja, pengelasan dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dengan cara ini, logam induk tidak ikut mencair.
3. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

Tabel 2.1 Klasifikasi Cara Pengelasan.



Gambar 2.3. Klasifikasi pengelasan

2.2.3. Teori Elastisitas dan Plastisitas Plat

Dalam pemilihan material seperti lembaran plat untuk pembuatan komponen yang harus diperhatikan adalah sifat-sifat material antara lain; kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*), dan kekuatan lelah (*fatigue strength*). Sifat mekanik material untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, struktur molekul berada dalam keseimbangan. Gaya luar pada proses penarikan, tekanan, pemotongan, penempaan, pengerolan, dan pembengkokan, akan mengakibatkan material mengalami tegangan.

Sebuah plat yang dikenai beban dari luar, maka plat akan mengalami *defleksi*. Pada beban luar yang tidak terlalu besar *defleksi* plat akan kembali ke bentuk seperti semula setelah beban yang diberikan dilepas. Plat tidak akan terjadi deformasi permanen disebabkan karena gaya elastis plat. Hal ini yang disebut sifat elastisitas material. Peningkatan beban yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plat dimana plat tidak akan kembali ke bentuk seperti semula atau plat mengalami deformasi permanen (*permanent set*) yang disebut plastisitas. Langkah pertama dari analisis aliran plastis adalah menentukan kriteria luluh (*yield criterion*). Peningkatan pembebanan yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) yang dimiliki plat mengakibatkan aliran deformasi permanen yang disebut

plastisitas. Menurut Mondelson (1983) teori plastis terbagi menjadi dua kategori:

1. Teori fisik

Teori fisik menjelaskan aliran bagaimana logam akan menjadi plastis. Meninjau terhadap kandungan mikroskopik material seperti halnya pengerasan kristal atom dan dislokasi butir kandungan material saat mengalami tahap plastisitas.

2. Teori matematis

Teori matematis berdasarkan pada fenomena logis alami dari material dan kemudian dideterminasikan ke dalam rumus yang digunakan untuk acuan perhitungan pengujian material tanpa mengabaikan sifat dasar material.

2.2.4. Tegangan

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan menurut Marciniak (2002) dibedakan menjadi dua yaitu, *engineering stress* dan *true stress*. *Engineering stress* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{\text{eng}} = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

σ_{eng} = *Engineering stress* (MPa)

F = gaya (N)

A_0 = Luas permukaan awal (mm²)

Sedangkan *True stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (*actual*). *True stress* dapat dihitung dengan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

σ = *True stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A_0 = Luas permukaan sebenarnya (mm²)

Jika tidak ada perubahan volume selama deformasi, maka :

$$A_i \cdot l_i = A_0 \cdot l_0$$

Tegangan dan regangan teknik dihubungkan dengan tegangan dan regangan sebenarnya dengan persamaan :

$$\sigma_T = \sigma (1 + \epsilon) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

σ_T = *True stress* (MPa)

σ = *Engineering Stress* (MPa)

ϵ = *Regangan Engineering* (mm²)

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*).

2.2.5. Regangan

Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran atau bentuk material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau yang menekan pada material. Apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin penguji dan diberikan beban serta terjadi pertambahan panjang, dan perubahan panjang mengalami perubahan panjang secara serempak, maka dapat digambarkan pengamatan pada grafik dimana ordinat menyatakan beban atau gaya yang diberikan pada pengujian tarik dan absis menyatakan pertambahan panjang.

Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier dan berakhir sampai pada titik mulur. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai pada batasan fase sifat plastis.

Menurut Marciniak (2002) regangan dibedakan menjadi dua, yaitu : *engineering strain* dan *true strain*. *Engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$\varepsilon_{\text{eng}} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

ε_{eng} = *Engineering strain*

Δl = Perubahan panjang

l_0 = Panjang mula-mula

l = Panjang setelah diberi gaya

True strain regangan yang dihitung secara bertahap (*increment strain*), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda. Maka persamaan regangan untuk *true strain* (ϵ) adalah

$$\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan :

$$\epsilon = \text{True strain}$$

2.2.6. Deformasi

Deformasi atau perubahan bentuk terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sebesar apapun gaya yang bekerja pada bahan, bahan akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis.

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang

selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah (Singer, 1995)

Hubungan tegangan-regangan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{\delta}{L}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Sehingga deformasi (δ) dapat diketahui :

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

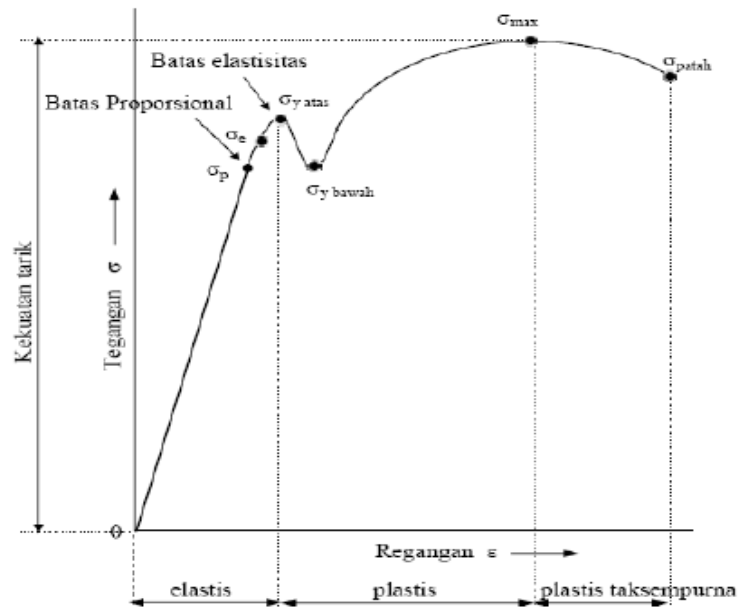
P = Beban (N)

A = Luas permukaan (mm²)

L = Panjang awal (mm)

E = Modulus Elastisitas

Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu bahan akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan bahan di bawah kekuatan luluh bahan akan kembali ke bentuk semula, hal ini dikarenakan sifat elastis bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula, hal ini bisa dilihat dalam diagram tegangan-regangan berikut :



Gambar 2.4. Diagram Tegangan–Regangan

Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh modulus elastisitas, modulus elastisitas suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (2.8)$$

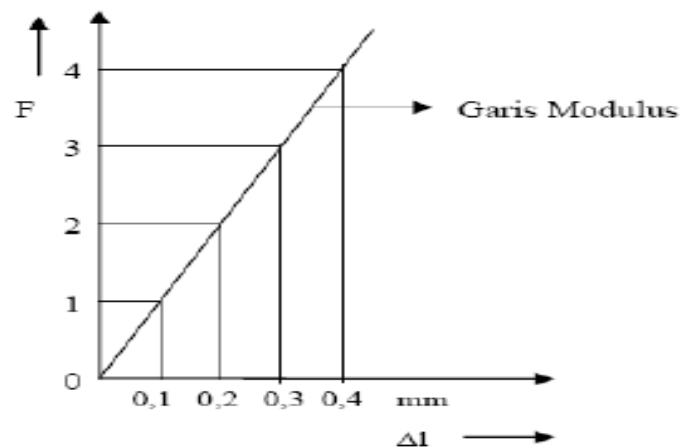
Dimana :

E = Modulus elastisitas

σ = Tegangan (Mpa)

ε = Regangan

Garis modulus berupa garis lurus pada kurva beban dan perpanjangan, yang menunjukkan bahwa beban berbanding lurus dengan perpanjangan. Seperti gambar di bawah ini :

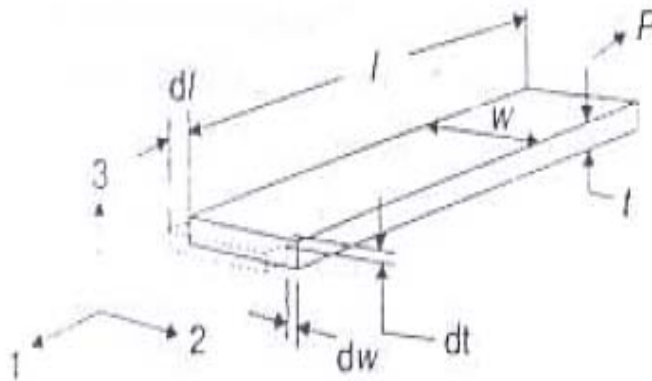


Gambar 2.5. Garis Modulus Elastisitas

Bila garis modulus itu membuat sudut besar dengan sumbu horizontal, berarti bahan itu sangat tahan terhadap perubahan bentuk elastik (kaku), memiliki modulus elastis tinggi sehingga tahan terhadap perubahan bentuk (deformasi) elastis.

2.2.7. Perubahan ketebalan

Kondisi regangan dan tegangan pada saat material mulai terdeformasi mengalami beberapa tahap (*increment*) disetiap bagian elemen (plat). Hal ini berdasarkan pada prinsip tiga arah peregangan material pada saat pengujian (Marciniak, 2002)



Gambar 2.6. Komponen Variabel dalam Perhitungan regangan suatu elemen

$$\frac{dl}{l} + \frac{dw}{w} + \frac{dt}{t} = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

Atau dapat ditulis :

$$d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3 = 0 \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan regangan untuk kasus material isotropik adalah :

$$d\varepsilon_1 = \frac{dl}{l}; \quad d\varepsilon_2 = -\frac{1}{2}d\varepsilon_1; \quad d\varepsilon_3 = -\frac{1}{2}d\varepsilon_1$$

Sedangkan untuk tegangan adalah sebagai berikut :

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}; \quad \sigma_2 = 0; \quad \sigma_3 = 0$$

Dengan :

$d\varepsilon_1, d\varepsilon_2, d\varepsilon_3$ = strain increment

σ = Tegangan (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan (mm²)

2.2.8. Perbandingan tegangan dan regangan (*Stress and strain ratio*)

Perbandingan tegangan dan regangan pada kondisi material terdeformasi menggunakan konstanta perbandingan β dan α (Marciniak, 2002)

Dengan :

$\beta = \text{Strain ratio}$

uniaxial tension = -1/2;

Plane stress = 0

$\alpha = \text{Stress ratio}$

uniaxial tension = 0;

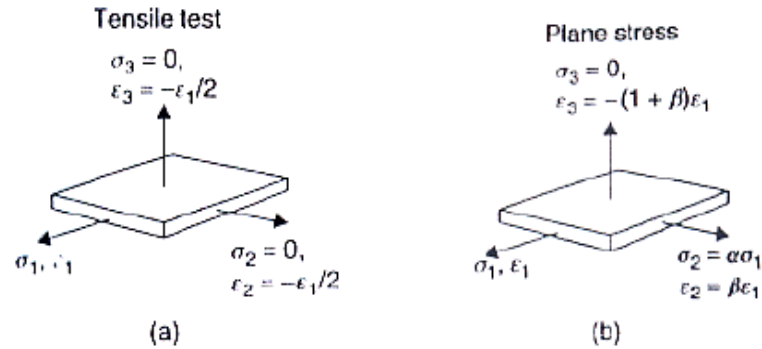
Plane stress = 1/2

Prinsip yang digunakan untuk tegangan yang bekerja pada suatu elemen pada saat pengujian adalah $\sigma_1 > \sigma_2$ dan $\sigma_3 = 0$, maka untuk kondisi elemen suatu material yang terdeformasi adalah :

$$\varepsilon_1; \quad \varepsilon_2 = \beta \varepsilon_1; \quad \varepsilon_3 = -(1 + \beta) \varepsilon_1$$

$$\sigma_1; \quad \sigma_2 = \alpha \sigma_1; \quad \sigma_3 = 0$$

Pada gambar 2.7 menggambarkan tentang prinsip tegangan yang bekerja pada suatu elemen pada saat uji tarik dan uji tekan.



Gambar 2.7. Prinsip tegangan dan regangan untuk elemen yang terdeformasi (a) *uniaxial tension* dan (b) *a general plane stress sheet process*.

$$\epsilon_1 = \ln \frac{d1}{d0}; \quad \epsilon_2 = \ln \frac{d2}{d0}; \quad \epsilon_3 = \ln \frac{t}{t0}$$

2.2.9. Ketebalan (*thickness*) material

Untuk mencari ketebalan pada bagian suatu material (pelat) yang terdeformasi menggunakan persamaan :

$$t = t_0 \exp(\epsilon_3) = t_0 \exp[-(1 + \beta)\epsilon_1] \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan :

t = Ketebalan elemen (mm)

t_0 = Ketebalan awal elemen (mm)

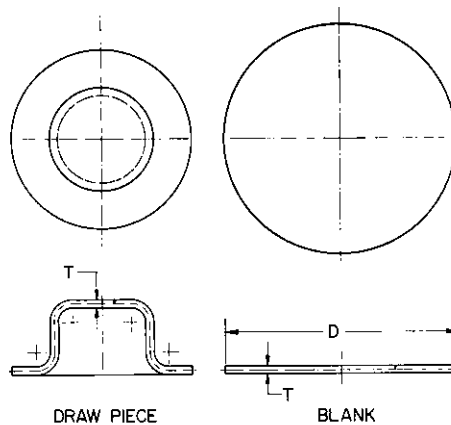
ϵ_1 = *Strain increment*

2.2.10. Pengertian *Deep Drawing*

Deep Drawing atau biasa disebut drawing adalah salah satu jenis proses pembentukan logam, dimana bentuk pada umumnya berupa silinder dan selalu mempunyai kedalaman tertentu, sedangkan defiisi menurut P.CO Sharma seorang professor

production technology drawing adalah Proses *drawing* adalah proses pembentukan logam dari lembaran logam ke dalam bentuk tabung (*hallow shape*) (P.C. Sharma 2001 : 88)

Deep *drawing* dan *drawing* pada intinya merupakan satu jenis proses produksi namun terdapat beberapa ahli yang membedakan dengan indek ketinggian, proses *deep drawing* mempunyai indek ketinggian yang lebih besar dibandingkan dengan *drawing*. bahan dasar dari proses *deep drawing* adalah lembaran logam (*sheet metal*) yang disebut dengan *blank*, sedangkan produk dari hasil proses *deep drawing* disebut dengan *draw piece*, (gambar 2.9)



Gambar 2.8 : *Blank* dan *draw piece*
(D. Eugene Ostergaard ;1967 : 131)

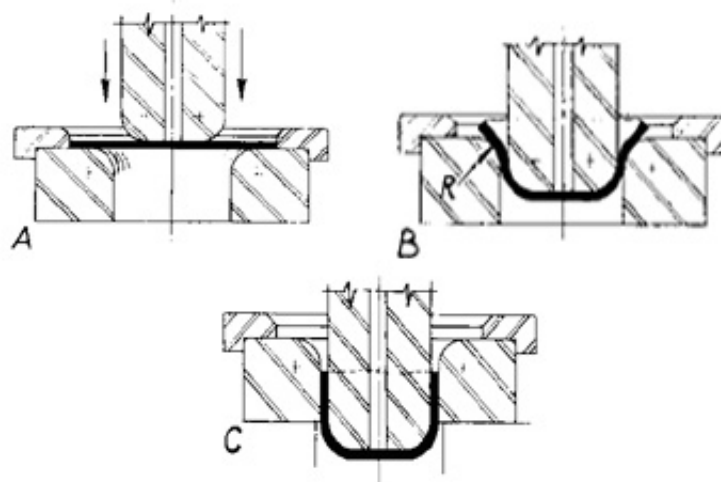
2.2.11. Proses *Deep Drawing*

Proses deep drawing dilakukan dengan menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam yang disebut dengan blank sehingga terjadi peregangan mengikuti bentuk dies, bentuk akhir ditentukan oleh punch sebagai penekan dan die sebagai penahan benda kerja saat di tekan oleh punch. pengertian dari

sheet metal adalah lembaran logam dengan ketebalan maksimal 6 mm, lembaran logam (sheet metal) di pasaran dijual dalam bentuk lembaran dan gulungan. Terdapat berbagai tipe dari lembaran logam yang digunakan, pemilihan dari jenis lembaran tersebut tergantung dari :

- *Strain rate* yang diperlukan
- Benda yang akan dibuat
- Material yang diinginkan
- Ketebalan benda yang akan dibuat
- Kedalaman benda

Pada umumnya berbebagai jenis material logam dalam bentuk lembaran dapat digunakan untuk proses deep drawing seperti stainless stell, alumunium, tembaga, perak, emas, baja. Maupun titanium. Gambaran lengkap proses drawing dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9.: Proses *deep drawing*
(D. Eugene Ostergaard ;1967 : 128)

Berikut adalah macam-macam proses yang terjadi pada proses *deep drawing* :

a) Kontak Awal

Pada gambar 2.10.A, punch bergerak dari atas ke bawah, blank dipegang oleh blank holder agar tidak bergeser ke samping, kontak awal terjadi ketika bagian-bagian dari die set saling menyentuh lembaran logam (blank) saat kontak awal terjadi belum terjadi gaya-gaya dan gesekan dalam proses drawing.

b) *Bending*

Selanjutnya lembaran logam mengalami proses bending seperti pada gambar 2.10.B, punch terus menekan kebawah sehingga posisi punch lebih dalam melebihi jari-jari (R) dari die, sedangkan posisi die tetap tidak bergerak ataupun berpindah tempat, kombinasi gaya tekan dari punch dan gaya penahan dari die menyebabkan material mengalami peregangan sepanjang jari-jari die, sedangkan daerah terluar dari blank mengalami kompresi arah radial. Bending merupakan proses pertama yang terjadi pada rangkaian pembentukan proses deep drawing, keberhasilan proses bending ditentukan oleh aliran material saat proses terjadi.

c) *Straightening*

Saat *punch* sudah melewati radius *die*, gerakan *punch* ke bawah akan menghasilkan pelurusan sepanjang dinding *die* (gambar 2.10.C), lembaran logam akan mengalami peregangan sepanjang dinding *die*. Dari proses pelurusan sepanjang dinding *die* diharapkan mampu menghasilkan bentuk silinder sesuai dengan bentuk *die* dan *punch*.

d) *Compression*

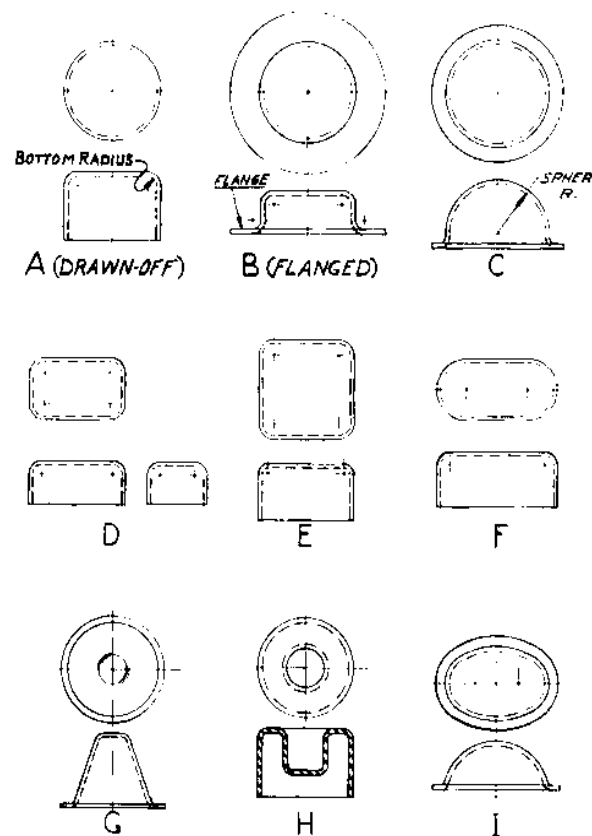
Proses *compression* terjadi ketika *punch* bergerak ke bawah, akibatnya blank tertarik untuk mengikuti gerakan dari *punch*, daerah blank yang masih berada pada *blank holder* akan mengalami *compression* arah radial mengikuti bentuk dari *die*.

e) *Tension*

Tegangan tarik terbesar terjadi pada bagian bawah *cup* produk hasil *deep drawing*, bagian ini adalah bagian yang paling mudah mengalami cacat sobek (*tore*), pembentukan bagian bawah cup merupakan proses terakhir pada proses *deep drawing*.

2.2.12. Komponen utama *die set*

Proses *deep drawing* mempunyai karakteristik khusus dibandingkan dengan proses pembentukan logam lain, yaitu pada umumnya produk yang dihasilkan memiliki bentuk tabung yang mempunyai ketinggian tertentu, sehingga *die* yang digunakan juga mempunyai bentuk khusus, proses pembentukan berarti adalah proses *non cutting* logam. Produk yang dihasilkan dari *deep drawing* bervariasi tergantung dari desain *die* dan *punch*, gambar 2.10. menunjukkan beberapa jenis produk (*draw piece*) hasil *deep drawing*.



Gambar 2.10 : Beberapa macam bentuk *draw piece*
(D. Eugene Ostergaard ;1967 : 127)
Dalam satu unit *die set* terdapat komponen utama yaitu :

a). *Punch*

Punch merupakan bagian yang bergerak ke bawah untuk meneruskan gaya dari sumber tenaga sehingga *blank* tertekan ke bawah, bentuk *punch* disesuaikan dengan bentuk akhir yang diinginkan dari proses *drawing*, letak *punch* pada gambar 2.11. berada di atas *blank*, posisi dari *punch* sebenarnya tidak selalu diatas tergantung dari jenis *die drawing* yang digunakan.

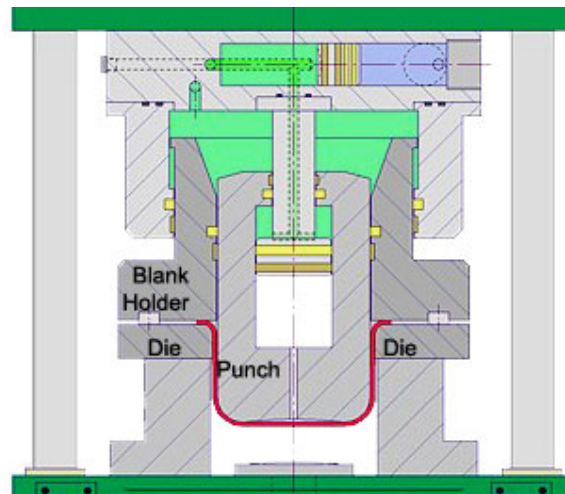
b). *Blankholder*

Berfungsi memegang *blank* atau benda kerja berupa lembaran logam, pada gambar diatas *blankholder* berada diatas benda kerja, walaupun berfungsi untuk memegang benda kerja, benda kerja harus tetap dapat bergerak saat proses *drawing* dilakukan sebab saat proses *drawing* berlangsung benda kerja yang dijepit oleh *blankholder* akan bergerak ke arah pusat sesuai dengan bentuk dari *die drawing*. Sebagian jenis *blankholder* diganti dengan *nest* yang mempunyai fungsi hampir sama, bentuk *nest* berupa lingkaran yang terdapat lubang didalamnya, lubang tersebut sebagai tempat peletakan dari benda kerja agar tidak bergeser ke samping.

c). *Die*

Merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan bentuk akhir dari benda kerja *drawing* (*draw piece*), bentuk dan ukuran *die* bervariasi sesuai dengan bentuk akhir yang diinginkan, konstruksi *die* harus mampu menahan gerakan, gaya geser serta gaya *punch*. Pada *die* terdapat radius tertentu yang berfungsi mempermudah reduksi benda saat proses berlangsung, lebih jauh lagi dengan adanya jari-jari diharapkan tidak terjadi sobek pada material yang akan di *drawing*.

sedangkan komponen lainnya merupakan komponen tambahan tergantung dari jenis *die* yang dipakai. Bentuk dan posisi dari komponen utama tersebut dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 : Bagian Utama *Die Drawing*
(<http://www.thefabricator.com/>)

2.2.13. Variabel Proses *Deep Drawing*

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan proses *deep drawing*, variabel yang mempengaruhi proses *deep drawing* antara lain :

a). Gesekan

Saat proses *deep drawing* berlangsung gesekan terjadi antara permukaan *punch*, *dies drawing* dengan *blank*, gesekan akan mempengaruhi hasil dari produk yang dihasilkan sekaligus mempengaruhi besarnya gaya yang dibutuhkan untuk proses pembentukan *drawing*, semakin besar gaya gesek maka gaya untuk proses *deep drawing* juga meningkat, beberapa faktor yang mempengaruhi gesekan antara lain :

- Pelumasan

proses pelumasan adalah salah satu cara mengontrol kondisi lapisan tribologi pada proses *drawing*, dengan pelumasan diharapkan mampu menurunkan koefisien gesek permukaan material yang bersinggungan.

- Gaya *Blank Holder*

Gaya *blank holder* yang tinggi akan meningkatkan gesekan yang terjadi, bila gaya *blank holder* terlalu tinggi dapat mengakibatkan aliran material tidak sempurna sehingga produk dapat mengalami cacat.

- Kekasaran Permukaan *Blank*

Kekasaran permukaan *blank* mempengaruhi besarnya gesekan yang terjadi, semakin kasar permukaan *blank* maka gesekan yang terjadi juga semakin besar. Hal ini disebabkan koefisien gesek yang terjadi semakin besar seiring dengan peningkatan kekasaran permukaan.

- Kekasaran Permukaan *punch*, *die* dan *blank holder*
Seperti halnya permukaan *blank* semakin kasar permukaan *punch*, *die* dan *blank holder* koefisien gesek yang dihasilkan semakin besar sehingga gesekan yang terjadi juga semakin besar.

b). Bending dan *straightening*

Pada proses *deep drawing* setelah *blank holder* dan *punch* menempel pada permukaan *blank* saat kondisi *blank* masih lurus selanjutnya terjadi proses pembengkokan material (*bending*) dan pelurusan *sheet* sepanjang sisi samping dalam *dies* (*straightening*). Variabel yang mempengaruhi proses ini adalah :

- Radius *Punch*
Radius *punch* disesuaikan dengan besarnya radius *die*, radius *punch* yang tajam akan memperbesar gaya bending yang dibutuhkan untuk proses *deep drawing*.
- Radius *Die*

Radius *die* disesuaikan dengan produk yang pada nantinya akan dihasilkan, radius *die* berpengaruh terhadap gaya pembentukan, bila besarnya radius *die* mendekati besarnya tebal lembaran logam maka gaya bending yang terjadi semakin kecil sebaliknya apabila besarnya radius *die* semakin meningkat maka gaya bending yang terjadi semakin besar.

c). Penekanan

Proses penekanan terjadi setelah proses *straghtening*, proses ini merupakan proses terakhir yang menentukan bentuk dari bagian bawah produk *drawing*, besarnya gaya tekan yang dilakukan dipengaruhi oleh :

- Keuletan logam

Semakin ulet lembaran logam *blank* semakin besar kemampuan *blank* untuk dibentuk ke dalam bentuk yang beranekaragam dan tidak mudah terjadi sobek pada saat proses penekanan, keuletan logam yang kecil mengakibatkan *blank* mudah sobek

- *Drawability*

Drawability adalah kemampuan bahan untuk dilakukan proses *deep drawing*, sedangkan nilainya ditentukan oleh *Limiting drawing ratio* (β_{maks}), batas maksimum β_{maks} adalah batas dimana bila material

mengalami proses penarikan dan melebihi nilai limit akan terjadi cacat sobek (*craking*).

- Ketebalan *Blank*

Ketebalan blank mempengaruhi besar dari gaya penekanan yang dibutuhkan, semakin tebal *blank* akan dibutuhkan gaya penekanan yang besar sebaliknya bila *blank* semakin tipis maka dibutuhkan gaya yang kecil untuk menekan *blank*.

- Keuletan logam

Semakin ulet lembaran logam *blank* semakin besar kemampuan *blank* untuk dibentuk ke dalam bentuk yang beranekaragam dan tidak mudah terjadi sobek pada saat proses penekanan, keuletan logam yang kecil mengakibatkan *blank* mudah sobek

- Tegangan Maksimum material

Material *blank* yang mempunyai tegangan maksimum besar mempunyai kekuatan menahan tegangan yang lebih besar sehingga produk tidak mudah mengalami cacat, material dengan tegangan maksimum kecil mudah cacat seperti sobek dan berkerut.

- Temperatur

Dengan naiknya temperatur akan dibutuhkan gaya penekanan yang kecil hal ini disebabkan kondisi

material yang ikatan butirannya semakin meregang sehingga material mudah untuk dilakukan deformasi.

d). Diameter *blank*

Diemeter *blank* tergantung dari bentuk produk yang akan dibuat, apabila material kurang dari kebutuhan dapat menyebabkan bentuk produk tidak sesuai dengan yang diinginkan, namun bila material *blank* terlalu berlebih dari kebutuhan dapat menyebabkan terjadinya cacat pada produk seperti kerutan pada pinggiran serta sobek pada daerah yang mengalami bending.

e). *Clearance*

Clearance atau Kelonggaran adalah celah antara *punch* dan *die* untuk memudahkan gerakan lembaran logam saat proses *deep drawing* berlangsung. Untuk memudahkan gerakan lembaran logam pada waktu proses *drawing*, maka besar *clearence* tersebut 7 % - 20 % lebih besar dari tebal lembaran logam, bila celah *die* terlalu kecil atau kurang dari tebal lembaran logam, lembaran logam dapat mengalami penipisan (*ironing*) dan bila besar *clearence* melebihi toleransi 20 % dapat mengakibatkan terjadinya kerutan. (Donaldson,1986:73)

f). *Strain Ratio*

Strain ratio adalah ketahanan lembaran logam untuk mengalami peregangan, bila lembaran memiliki

perbandingan regangan yang tinggi maka kemungkinan terjadinya sobekan akan lebih kecil.

g). Kecepatan *Deep Drawing*

Die drawing jenis *punch* berada diatas dengan *nest* dapat diberi kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan jenis *die* yang menggunakan *blank holder*, kecepatan yang tidak sesuai dapat menyebabkan retak bahkan sobek pada material, masing – masing jenis material mempunyai karakteristik berbeda sehingga kecepatan maksimal masing – masing material juga berbeda. Tabel berikut adalah kecepatan maksimal beberapa jenis material yang biasa digunakan untuk *sheet metal* drawing.

Tabel 2.1 : Jenis material dan kecepatan maksimal *draw dies*

Material	Kecepatan
Alumunium	0,762 m/s
Brass	1,02 m/s
Copper	0,762 m/s
Steel	0,279 m/s
Steel, stainless	0,203 m/s

(*D. Eugene Ostergaard ;1967 : 131*)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN DAN LANGKAH-LANGKAH SIMULASI

3.1. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan disini melalui proses sebagai berikut :

1. Menentukan topik yang akan diambil sebagai tugas akhir.
2. Melakukan *survey* lapangan dan mencari literatur yang mendukung proses penyusunan laporan.
3. Data yang diperoleh dari literatur dan data *input file* dilakukan *validasi* selanjutnya dimodelkan dengan ABAQUS CAE.
4. Memasukkan input data ke dalam program ABAQUS.
5. Menyerahkan *input file* ke dalam modul Job untuk dianalisa (*submit Job*).
6. Pembahasan Hasil dan Simulasi
7. Penulisan laporan

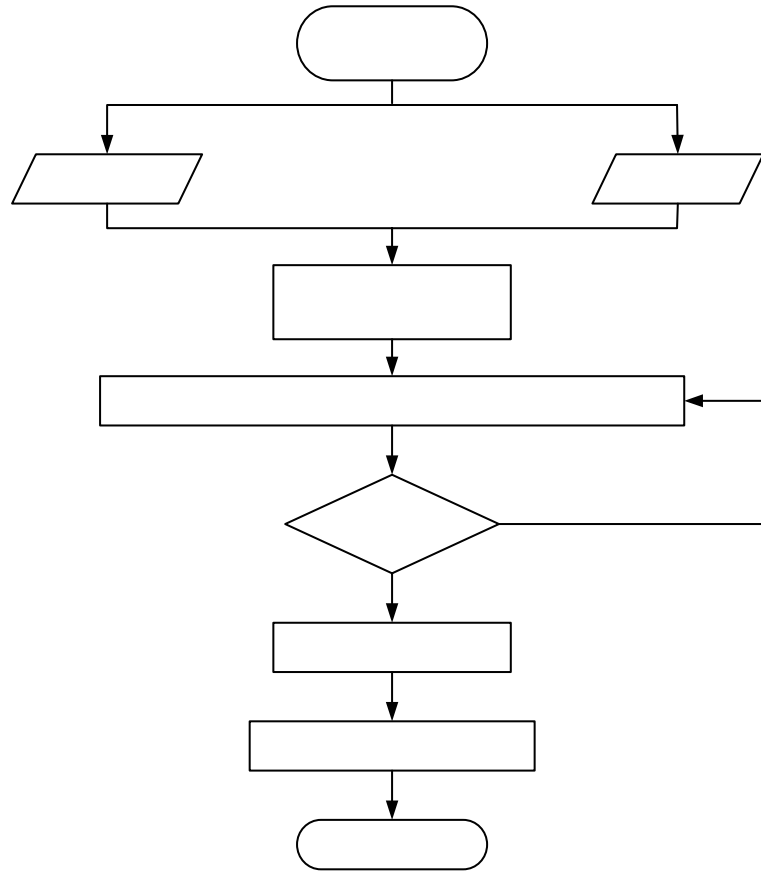


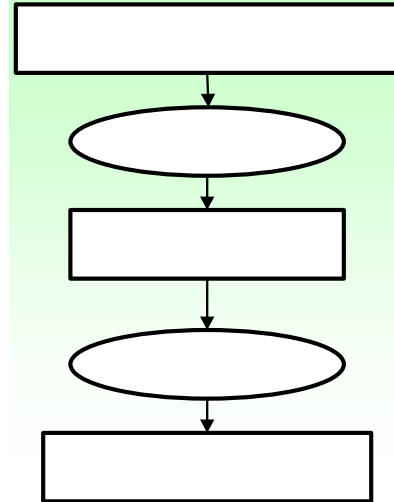
Diagram 3.1. *Flowchart Penelitian*

3.2. Pengertian ABAQUS

Sistem ABAQUS meliputi ABAQUS Standard sebagai pendukung umum (*general-purpose*) program elemen hingga, ABAQUS *Explicit* sebagai *dinamik explicit* program element hingga dan Visualisasi modul sebagai program *postprosesing* interaktif yang menyediakan tampilan dan daftar keluaran dari file output data base yang ditulis oleh ABAQUS *Standard* dan ABAQUS *Explicit* (ABAQUS *Theory Manual*, 2003). Program ABAQUS bekerja berdasarkan teori dasar yang dikembangkan pada Metode Elemen Hingga (MEH) yang kemudian ditransfer kedalam bahasa program menggunakan bahasa FORTRAN dan C++ agar bisa dibaca oleh perangkat lunak. *Software* ABAQUS menyediakan program yang digunakan untuk memodelkan benda yang akan dianalisis yang diberi nama ABAQUS CAE. Program ini berfungsi sebagai desain model yang akan kita analisa kekuatannya. Seperti kebanyakan program komputer yang banyak tersedia dipasaran, ABAQUS mempunyai fasilitas CAD/CAM/CAE yang bisa difungsikan sebagai program analisa elastis dan plastis. Keunggulan program ABAQUS dibanding program lain sejenis adalah lengkapnya menu yang tersedia pada part module. Selain itu kita juga bisa melakukan test dengan memasukkan data secara manual didalam input file. Pengembangan bahasa program didalam ABAQUS memungkinkan para desainer lebih mudah dalam memilih metode yang digunakan

dalam melakukan proses simulasi dan analisa (ABAQUS CAE Users Manual,2003).

ABAQUS/CAE adalah *Pre* dan *Postprocessor* yang dapat secara langsung menggunakan *solver* ABAQUS. Diagram alir proses *running* seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



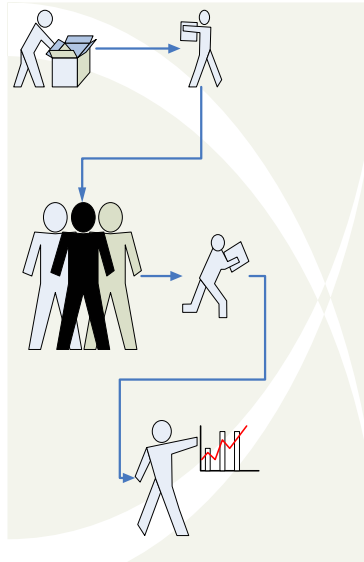
Gambar 3.2. Diagram Alir Proses *Running*

Preprocessor memerlukan informasi data geometri, data properties, data kondisi pembebanan dan data lain yang berhubungan dengan kondisi dan proses. Hasil dari *preprocessor* berupa berkas masukan (*input file*) untuk kemudian dibaca oleh *Solver*.

Solver akan melakukan analisis berdasarkan *input file* yang sudah ada dan hasil analisis direkam dalam berbagai file dalam bentuk file database (*binary file*) yang berisi berbagai informasi gambar dan hasil perhitungan, serta file hasil angka-angka dalam bentuk ASCII file perhitungan yang bisa dibaca menggunakan *text editor* atau *word processor*.

Postprocessor akan membaca hasil dari *solver* yang tertuang dalam database file sehingga dapat menampilkan hasil perhitungan atau hasil simulasi yang sudah dikerjakan oleh *solver*.

Kemungkinan terjadinya kesalahan dan kegagalan selama proses *running* dari *input file* yang telah dibuat bisa disebabkan karena kesalahan dalam memasukkan data pada module ABAQUS CAE. Secara ringkas, diagram hubungan *Preprocessor*, *Solver* dan *Postprocessor* ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hubungan kerja *Preprocessor*, *Solver* dan *Postprocessor*

Dengan mengikuti alur berpikir dari diagram diatas kita bisa mengatasi persoalan dengan cepat dan tepat. Sebagai program untuk desain dan analisa numerik ABAQUS mampu bekerja pada daerah plastis dan elastis dengan tampilan grafik yang berupa diagram linier-non linier yang lengkap.

3.2.1. *Preprocessing* (ABAQUS CAE)

Pemodelan dilakukan di dalam ABAQUS CAE dengan memasukkan geometri yang telah kita lakukan pengukuran sebelumnya atau dari data yang telah kita *import* dari *input file*. ABAQUS juga menyediakan menu yang bisa digunakan untuk *import Sketch*, *Part* dan *Model* dari perangkat lunak yang lain diantaranya adalah CATIA, Pro Engineer, PATRAN, MARC. Dalam menggambarkan model yang akan kita analisa kita bisa menentukan koordinat sistem yang akan kita buat. Sebelum kita melakukan simulasi kita memasukkan data ke dalam modul ABAQUS CAE sehingga semua *keyword* dan *parameter* yang kita masukkan kedalam *input file* bisa kita periksa kebenarannya sebelum kita melakukan proses *running*. Urutan dalam memasukkan data harus kita perhatikan dengan benar karena antara satu modul dengan modul yang lain saling berhubungan. Secara garis besar urutan memasukkan data ke dalam *input file* adalah sebagai berikut :

a). *Part*

Part adalah bagian modul yang digunakan untuk menggambar benda yang akan disimulasikan didalam ABAQUS CAE. Modul *part* menyediakan

menu di toolbar yang berfungsi untuk melakukan modifikasi benda maupun membuat bentuk sesuai dengan model yang akan kita buat.

b). *Property*

Property berfungsi untuk memasukkan sifat mekanis bahan, jenis material, kekuatan bahan dan spesifikasi teknis dari material yang akan dianalisa. Modul *property* ini sangat penting sebelum kita masuk kelangkah berikutnya, karena *property* dari material harus diberikan sebelum kita melakukan proses *assembly*.

c). *Assembly*

Assembly adalah menyusun bagian-bagian komponen (*instance part*) yang kita buat menjadi satu kesatuan model sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisa numerik. Modul *assembly* menyediakan sistem penggabungan komponen secara manual dan otomatis. Ketika menyusun komponen menjadi satu kesatuan model kita harus memperhitungkan letak benda yang akan ditampilkan selama proses simulasi.

d). *Step*

Step berfungsi untuk menentukan bagian mana yang akan didefinisikan sebagai letak pemberian beban atau kecepatan. Modul *step* menyediakan menu *Set* dan *Surface* untuk meletakkan beban yang akan dikerjakan pada benda.

e). *Interaction*

Interaction berfungsi untuk menentukan bagian material yang akan mengalami kontak. *Interaction* juga berguna untuk memberikan *constraint* pada benda yang dianalisa untuk mencegah bergesernya benda dari kedudukan awalnya.

f). *Load*

Load digunakan untuk memberikan beban, kecepatan, *boundary* pada benda uji. Modul *load* juga digunakan sebagai sarana untuk memasukkan tipe kondisi batas (*boundary conditions*) yang akan kita buat.

g). *Mesh*

Mesh berfungsi membagi geometri yang kita buat menjadi *node* dan *elemen*. Kita bisa menentukan jenis *mesh* yang akan kita gunakan serta mengontrol jenis mesh yang kita berikan pada benda.

h). *Job*

Job berfungsi untuk melakukan proses *running* terhadap model yang telah kita buat. Setelah program yang kita masukkan selesai kita serahkan pada *job module* untuk melakukan proses penyelesaian secara numerik. Jika terjadi kesalahan atau data yang kurang lengkap maka akan ada peringatan (*warning*) untuk melengkapi kekurangan data yang belum dimasukkan. Selama proses numerik di dalam *software* kita bisa memonitor dari *message area* yang berada di bawah *view port* apakah *submit job* berhasil atau tidak, apabila terjadi *error message* kita kembali kepada modul untuk melakukan modifikasi terhadap bagian-bagian yang masih terdapat kesalahan.

i). Visualization

Visualisasi berfungsi untuk menampilkan hasil numerik Abaqus *Standard/Abaqus Explicit* yang dinyatakan lengkap oleh program ABAQUS. Hasil dari simulasi bisa dilihat pada *viewport* dan kita bisa menampilkan grafik *output* yang kita inginkan.

3.2.2. Simulasi (ABAQUS Standard dan ABAQUS Explicit)

ABAQUS *Standard* dan ABAQUS *Explicit* digunakan untuk melakukan simulasi dari hasil *processing* di dalam *software* ABAQUS. Pada tingkat ini ABAQUS memecahkan permasalahan yang diberikan kedalam program dengan melakukan penyelesaian secara numerik. Sebagai contohnya keluaran dari analisa tegangan yang meliputi perpindahan dan tegangan yang disimpan dalam file *binary* siap untuk *post processing*. Tergantung dari kerumitan masalah yang di analisa dan kemampuan komputer yang digunakan, ini bisa dilihat dari *running* yang dilakukan bisa dalam beberapa detik atau sehari-hari.

3.2.3. Post Processing (ABAQUS CAE)

Kita bisa mengevaluasi hasil dari simulasi yang telah lengkap dan perpindahan, tegangan atau variabel fundamental lain yang telah selesai dihitung. Evaluasi biasanya dilakukan secara interaktif menggunakan visualisasi modul dari ABAQUS/CAE atau *postprocessor* yang lain. Modul visualisasi, yang membaca *binary file output database*, mempunyai bermacam – macam pilihan untuk ditampilkan meliputi plot kontur warna, animasi, plot perubahan bentuk dan plot grafik X-Y.

3.3. Pemodelan Dengan ABAQUS CAE

Pemodelan yang akan diuji bisa dibuat dengan berbagai macam cara tergantung dari pemakai sendiri. Model bisa digambar langsung di ABAQUS CAE atau dengan bantuan program lain yang mempunyai fasilitas CAE. Pada program ABAQUS disini ada beberapa program yang bisa digunakan untuk import model diantaranya adalah CATIA, Pro Engineer, Auto CAD, IGES dan Parasolid. Masing-masing *software* mempunyai kelebihan sendiri dalam membuat model sehingga ketrampilan dari pemakai *software* lebih diutamakan.

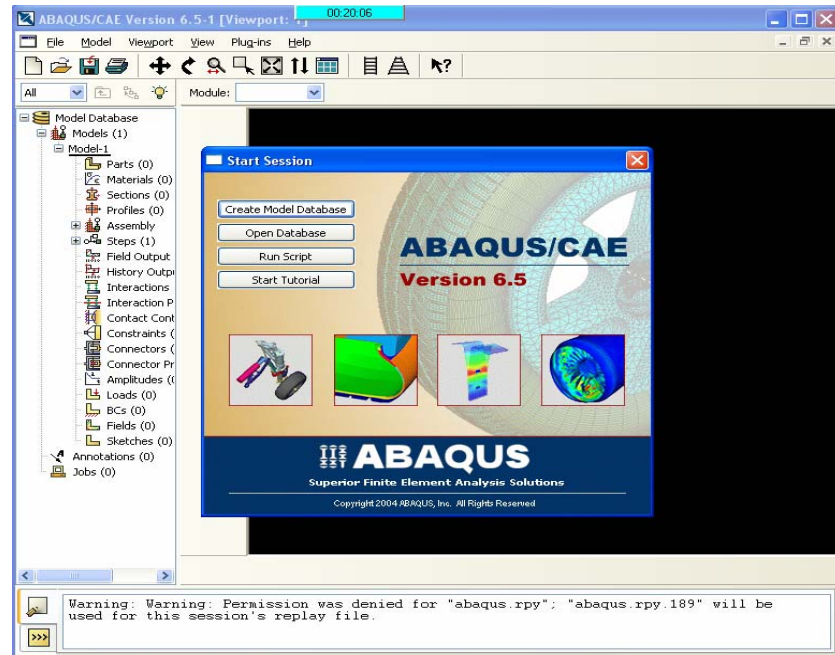
Penggunaan ABAQUS CAE sebagai sarana untuk memasukkan *input* data ke dalam file berperan penting bagi desainer pemula yang ingin melakukan analisa numerik memakai *software*. Sebelum kita memulai menggambarkan model yang akan kita buat langkah pertama yang perlu kita lakukan adalah mempersiapkan ukuran dari benda yang akan kita gambar. Dimensi dari model kita ukur selanjutnya dilakukan validasi ukuran dari model yang sebenarnya sehingga diperoleh bentuk yang mendekati model sesungguhnya.

ABAQUS CAE merupakan sarana untuk memasukkan data yang akan kita analisa. Jika kita menggambar di dalam CAE kemudian kita memasukkan *keyword* dan parameter yang diperlukan selama analisa itu sama halnya dengan memasukkan data ke dalam *input file* yang ada di dalam *solver* ABAQUS. Didalam ABAQUS juga ada fasilitas untuk mengimport model dari *input file* atau mengimport node dan Elemen untuk kemudian kita analisis dengan *solver* ABAQUS. Pemodelan kita lakukan dengan mengambil node dan elemen yang ada pada ABAQUS *Example Problem Manual* dengan bantuan ABAQUS Command untuk melakukan eksekusi dari data yang telah kita panggil. Data yang tersimpan didalam *directory folder* adalah data yang berisi node dan elemen, selanjutnya dari data ini kita melakukan modifikasi agar bisa dilakukan proses analisis terhadap model. *Rigid body* dipilih sebagai model yang tidak mengalami perubahan bentuk walaupun terkena benturan yang keras (*non deformable body*).

3.3.1 Cara Pemodelan dengan ABAQUS CAE

Fasilitas yang tersedia didalam program ABAQUS/CAE sangat lengkap sehingga kita bisa langsung melakukan pemodelan benda uji tanpa bantuan *software* lain jika kita mau. Tentu saja kita harus mahir mengoperasikan menu yang ada pada modul CAE. Berikut ini adalah cara menggambarkan model dengan menggunakan fasilitas ABAQUS CAE.

Sebelum kita masuk kedalam program CAE pertama kali yang harus kita lakukan adalah membuka ABAQUS *Licensing* (Klik *Start Server*) kemudian baru membuka ABAQUS/CAE. Setelah tampilan layar pada *viewport* muncul kita pilih *creating model*.



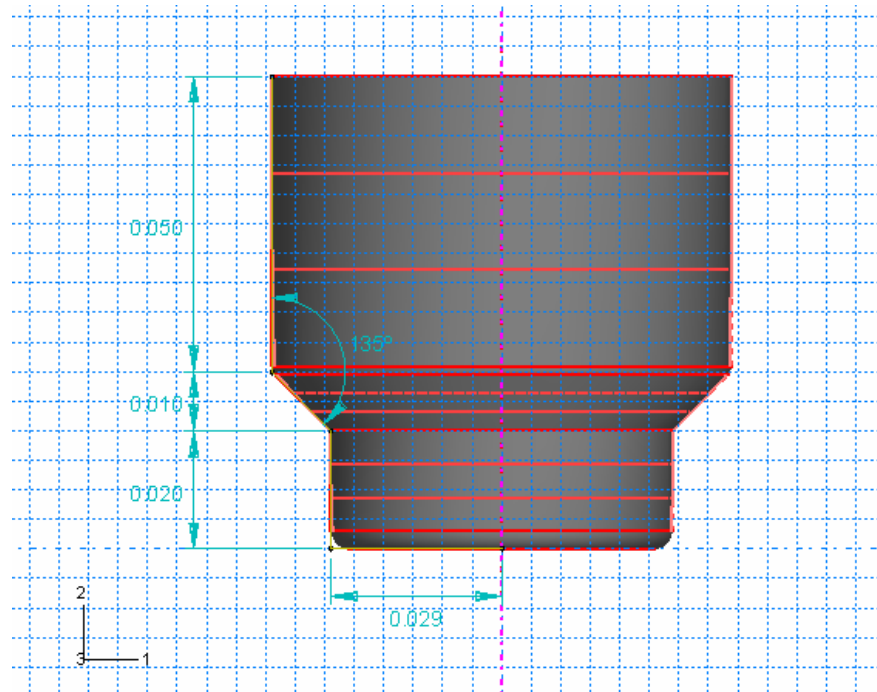
Gambar 3.4. ABAQUS Licensing Tool

a). Part Module ABAQUS/CAE

Kita melakukan pemodelan gambar benda yang akan kita uji pada modul ini. Dimensi dari benda uji kita masukkan kedalam *field* atau kolom yang tersedia di dalam *part module* sesuai dengan data yang telah kita validasi. Dalam melakukan pemodelan yang harus perlu kita perhatikan adalah bentuk dan model benda yang kita buat karena di sini tersedia beberapa model yang bisa kita pilih dan berpengaruh terhadap proses simulasi yang akan kita lakukan. Apabila kita melakukan kesalahan selama memasukkan data atau jenis elemen yang kita pilih maka setelah kita masuk ke modul *assembly* kita akan mendapatkan peringatan bahwa elemen yang kita pilih adalah salah. Setelah kita berada pada *part module* selanjutnya kita klik *part create* untuk membuat model baru., otomatis kita akan memasuki *sketcher* dan kita siap untuk menggambar model yang akan kita buat. Di situ akan tersedia *approximate size* yang berfungsi untuk skala pada *sketcher* sesuai dengan dimensi yang akan kita buat. *Approximate size* untuk seluruh *part* modul adalah 0.25 yaitu

b). Punch

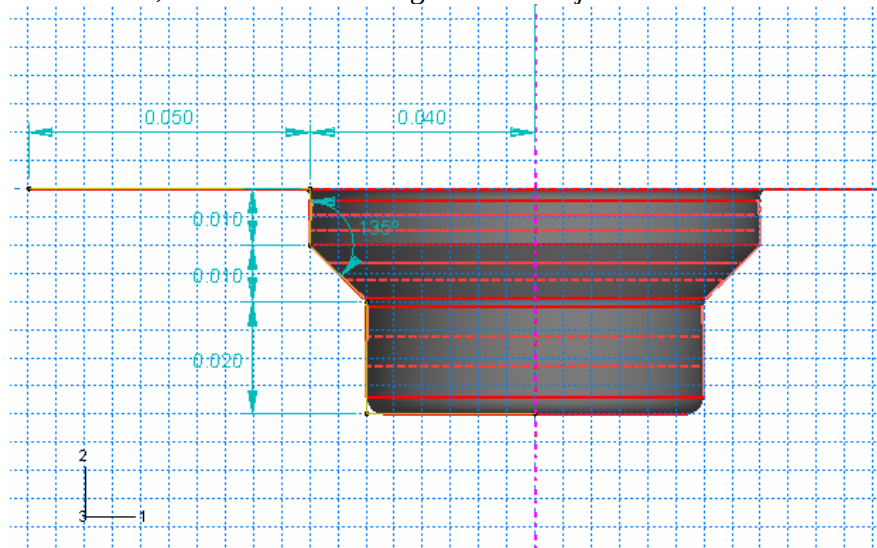
Pada simulasi ini, punch berjenis *3D discrete rigid*, karena model *berbentuk* 3 dimensi dan tidak akan berubah bentuk (terdeformasi) ketika ditabrakkan. Untuk *base feature*-nya menggunakan tipe *shell revolution*, karena model melingkar 360 derajat.



Gambar 3.5. Sket *Punch*

c). *Dies*

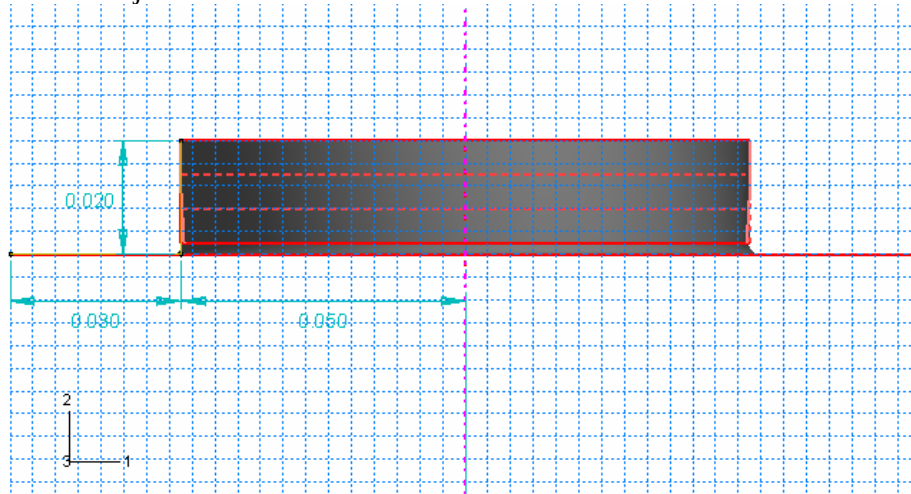
Pada simulasi ini, *dies* berjenis *3D discrete rigid*, karena model berbentuk 3 dimensi dan tidak akan berubah bentuk (terdeformasi) ketika ditabrakkan. Untuk *base feature*-nya menggunakan tipe *shell revolution*, karena model melingkar 360 derajat.



Gambar 3.6. Sket *dies*

d). *Blank holder*

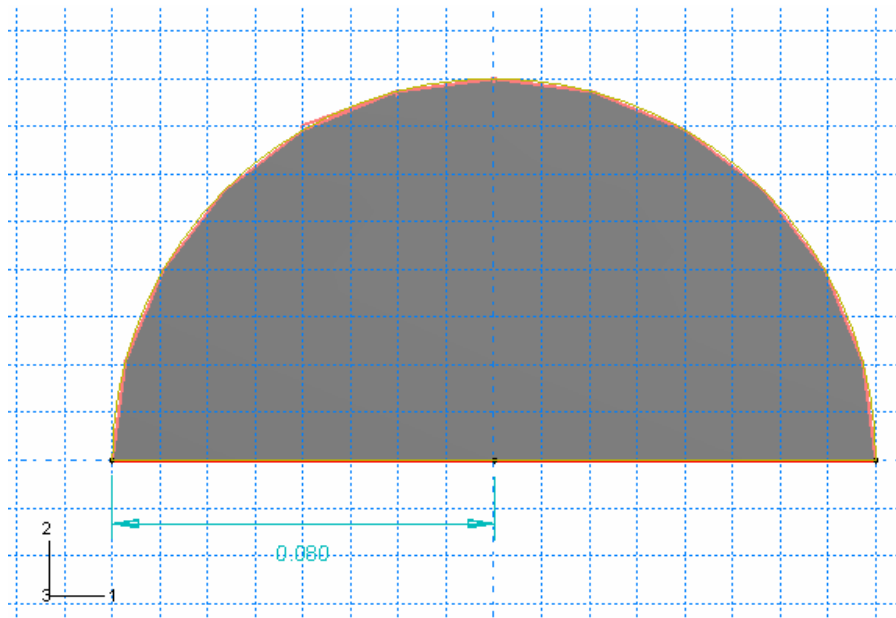
Pada simulasi ini, *blank holder* berjenis *3D discrete rigid*, karena model berbentuk 3 dimensi dan tidak akan berubah bentuk (terdeformasi) ketika ditabrakkan. Untuk *base feature*-nya menggunakan tipe *shell revolution*, karena model melingkar 360 derajat.



Gambar 3.7. Sket *Blank Holder*

e). **Blank Tebal**

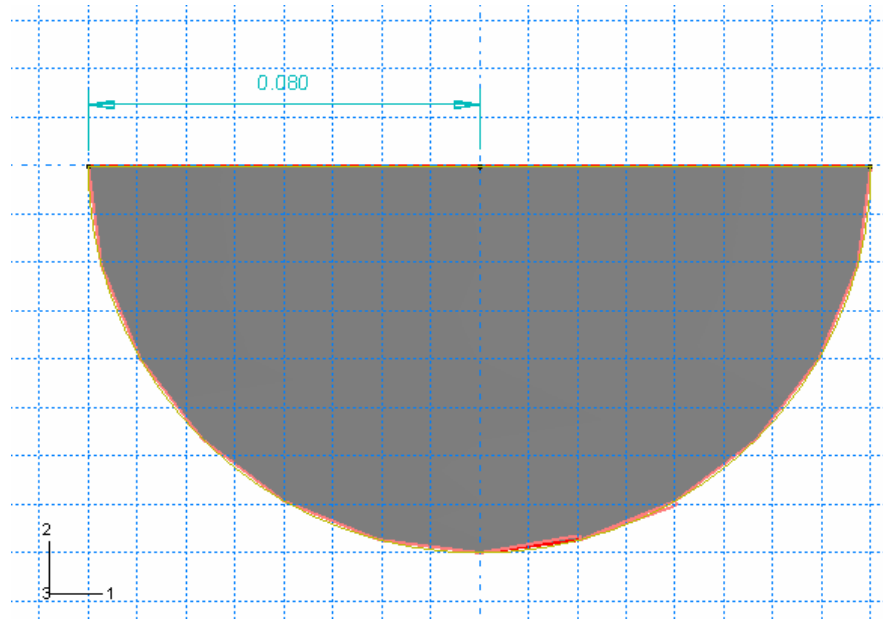
Pada simulasi ini, blank berjenis *3D deformable*. Blank dibuat *deformable* karena tegangan yang diterima diatas batas proporsional material (*plastic area*). Untuk *base feature*-nya menggunakan tipe *solid extrusion*.



Gambar 3.8. Sket *Blank Tebal*

f). Blank Tipis

Pada simulasi ini, blank berjenis *3D deformable*. Blank dibuat *deformable* karena tegangan yang diterima diatas batas proporsional material (*plastic area*). Untuk *base feature*-nya menggunakan tipe *solid extrusion*.



Gambar 3.9. Sket Blank Tipis

g). Propety Module ABAQUS/CAE

Model yang telah kita buat selanjutnya kita berikan *property* agar bisa dianalisa oleh *solver* ABAQUS. Dalam memasukkan *property material* kedalam model yang telah di buat harus cermat dan teliti karena jika kita kurang teliti bisa jadi ada bagian yang lupa kita definisikan, jenis bendanya dan apa materialnya. Kegagalan dalam proses *running* terhadap benda uji yang telah di buat salah satunya karena kita lupa memberikan definisi material, section material dan assign section material yang kita uji. Pada *tool bar* di atas *viewport* kita pilih modul *property* kemudian kita lakukan proses memasukkan data material benda yang akan kita analisis.

Untuk simulasi ini material yang digunakan adalah *Mild steel*, di dalam *material options* kita memasukkan sifat elastis dan sifat plastis karena material akan mengalami deformasi di sepanjang bidang kontak *Blank* dengan *Dies* dan *Punch* dan kemungkinan terjadi deformasi plastis. *Frame* ini mempunyai ketebalan berbeda, yaitu 1 mm untuk *Blank* tebal dan 0.8 mm untuk *Blank* tipis, dengan tipe material *shell homogeneous*.

Berikut langkah-langkahnya :

1. *Double* klik material, dan berinama *Mild steel* pada kotak nama
2. Klik *general*, klik *density*, masukkan 7800 kg/m^3
3. Klik *mechanical*, klik *elastic*, masukkan $2.06\text{E}+011\text{Pa}$ pada kotak modulus elastisitasnya dan 0.3 *poisson ratio*
4. Klik *plasticity*, klik *plastic*, isikan besarnya sesuai tabel berikut.

Tegangan sebenarnya (Yield stress)	<i>Plastic strain</i>
1.133E+08	0.0000
1.326E+08	0.0214
1.564E+08	0.0660
1.676E+08	0.1134
1.699E+08	0.1476
1.608E+08	0.1654
1.355E+08	0.1764

5. Klik OK
6. *Double* klik *section*, dan berinama *Section tebal*, pada kotak nama dan pilih *homogeneous solid, continue* dan pada *edit section, thickness*-nya berikan 1 mm OK. Dan diulangi lagi berinama *Section tipis* dan pada *edit section, thickness*-nya berikan 0.8 mm. OK.
7. Kembali ke modul *part*, pilih *blank* tebal dan klik tanda (+), *double* klik *section assignment*, pilih *section* tebal, blok *blank* tebal, OK. Dan begitu pula untuk *blank* tipis

h). *Assembly Modul ABAQUS/CAE*

Modul *assembly* menyediakan menu untuk menempatkan posisi dari beberapa bagian model menjadi satu kesatuan letak (*instance*) sehingga memudahkan kita untuk melakukan simulasi. Di dalam menyusun bagian-bagian benda menjadi sebuah model yang baik bisa dilakukan dengan cara manual dan otomatis tergantung dari keinginan kita dalam melakukan penyusunan karena hal ini tidak mempengaruhi proses analisa. Berikut langkah-langkahnya :

1. *Double* klik instance pada modul *assembly*, pilih *Punch*, *Blank* tebal, *Blank* tipis, *Holder*, dan *Dies*.OK
2. Klik *translate instance*, *instance list*, pilih *punch*, OK.
3. Masukkan nilai X, Y, Z pada kotak *start point* dengan nilai Y= 0.03, *Enter*, YES
4. Hal ini juga dilakukan pada *Holder* dengan nilai Y=0.015 dan *Dies* dengan nilai=-0.01.
5. Kemudian pemberian *Referensi point* pada *Dies*, *Blank*, *Holder* caranya pilih *tool*, *reference point*, masukkan nilai X, Y, Z pada kotak *start point*.dengan data seperti di bawah ini.

Rp-punch

X-value: 0
Y-value: 0
Z-value: 0.00119

Rp-holder

X-value: 0.042
Y-value: 0
Z-value: 0.0061

Rp-dies

X-value: 0.037
Y-value: 0
Z-value: -0.05

Dari data di atas dapat kita lihat bahwa yang paling penting dalam proses penentuan *sets*. *Sets* adalah penentuan *node* atau *element* dan bagian yang berinteraksi selama proses simulasi. Dalam proses simulasi ini terdapat delapan *Sets*.

Pada modul *assembly*, *double* click *set*, isikan nama, pilih area *set* yang dipilih seperti keterangan berikut :

- 1 *Rp-punch* : Pilih *referensi point* dari *Punch*
- 2 *Rp-holder* : Pilih *referensi point* dari *Holder*
- 3 *Rp-dies* : Pilih *referensi point* dari *Dies*

- 4 *Punch* : pilih seluruh *Punch*
- 5 *Holder* : Pilih seluruh *Blank Holder*
- 6 *Dies* : Pilih seluruh *Dies*
- 7 *Blank* tebal : Pilih seluruh *Blank* tebal
- 8 *Blank* tipis : Pilih seluruh *Blank* tipis

Selain sets langkah lain dalam *assembly* adalah penentuan *surface*. *Surface* adalah penentuan bagian-bagian permukaan yang bergesekan selama proses simulasi. Dalam proses *deep drawing* ini terdapat lima *surface*.

Double klik *surface* pada modul *assembly*, isikan nama dan sisi permukaan seperti keterangan berikut :

- 1 Atas *Blank* Tebal : Pilih bagian atas dari *Blank* Tebal
pilih warna *brown*
- 2 Bawah *Blank* Tipis : Pilih bagian bawah dari *Blank* Tipis
pilih warna *brown*
- 3 Sisi *Blank* Tebal : Pilih sisi dalam *Blank* Tebal
- 4 Sisi *Blank* Tipis : Pilih sisi dalam *Blank* Tipis
- 5 *Dies* : Pilih bagian atas *Dies*, pilih warna *brown*
- 6 *Blankholder* : Pilih bagian bawah dari *Holder*,
pilih warna *brown*
- 7 *Punch* : Pilih seluruh bagian *Punch*,
pilih warna *brown*

i). **Step Modul ABAQUS/CAE**

Modul *Step* digunakan untuk menentukan langkah yang akan diambil selama proses simulasi. Dalam menentukan *Step* yang diinginkan maka harus mengetahui model dari benda yang diuji. *Step* yang dipilih tergantung dari berapa banyak proses yang dilakukan oleh model. Penelitian *deep drawing* ini mengambil satu *step dynamic explicit* dengan pertimbangan bahwa selama terjadi benturan benda mengalami perilaku dinamik dengan menyerap energi kinetik yang menyebabkan terjadinya deformasi permanen. Berikut langkah-langkahnya :

1. *Double* klik pada *Step*, pilih *dynamic Explicit*. Beri nama “Holder kebawah”, *Continue* masukkan *time period* 0.000032
2. Seperti cara yang pertama, *Step* yang kedua yaitu beri nama “Punch Dan Holder Dengan Gaya”, masukkan *time period* 0.004

j). Interaction Modul ABAQUS/CAE

Modul *interaction* berfungsi untuk menentukan bidang kontak atau jenis interaksi yang dialami oleh model. Dalam *interaction properties* ditentukan besarnya koefisien gesek dari tiap bagian yang bergesekan.

1. *Double* klik pada modul *property* beri nama *Dies-Bawah Blank* Tebal pilih *contact, continue*.
2. Pada edit *contact property*, pilih *mechanical* dan klik *tangensial behavior* dan pilih *penalty friction formulation*.
3. Masukkan 0.125 pada *friction koefisien*, klik *mechanical* dan pilih *normal behavior* dan pilih *hard contact* pada *pressure overclosure*. Diulang lagi untuk *Dies-Blank* Tipis dengan angka yang sama.
4. Hal yang sama untuk *contact* antara *Holder-Blank* Tebal dan *Holder-Blank* Tipis berikan *friction koefisien* 0,1. Dan terakhir

untuk *contact* antara *Punch-Blank* Tebal dan *Punch-Blank* Tipis berikan *friction koefisien* 0.144.

5. *Double* klik *interaction*, masukkan *Holder-Atas Blank* Tebal pada kotak nama stepnya dipilih “*initial* ”dan pilih *surface-to surface contact(explicit)* sebagai *interaction type*, *continue*.
6. Pada *prompt area* pilih *Holder* sebagai *first surface* dan *Atas Blank* Tebal sebagai *second surface*, pada *contact interaction property* pilih *holder-blank*.
7. Diulangi lagi untuk interaksi antara *Holder-Blank* Tipis, *Punch-Atas Blank* Tebal, *Punch-Atas Blank* Tipis, *Dies-Bawah Blank* Tebal, dan *Dies-Bawah Blank* Tipis dengan cara yang sama seperti di atas dengan menggunakan step “*initial*”.

Selain itu, dapat juga memberikan *constraint* pada *dies*, *punch* dan *holder* yang akan ditabrak dengan jenis *rigid body element*.

1. *Double* klik modul *constraint*, beri nama *Punch* pada kotak nama dan pilih *rigid body*, *continue*
2. Pada *edit Constraint*, klik *none* pada *body (element)*, pilih *edit*, pada *prompt area* klik *sets* dan pilih *Punch*, kemudian pada *reference point*, pilih *edit*, pada set pilih *Rp-Punch*.
3. Diulangi lagi untuk *constraint* pada *Dies*, dan *Holder* dengan cara yang sama seperti di atas.

Karena pada simulasi ini, terdapat sambungan *blank* dengan ketebalan yang berbeda, maka untuk penyambungan digunakan *constraint* pada sisi *blank* tebal dan sisi *blank* tipis sisi *blank* tipis yang akan disambung dengan jenis *tie element*. Yaitu, *double* klik modul *constraint*, beri nama sambungan pada kotak nama dan pilih

tie, continue. Pada *region surface*, pilih sisi *blank* tebal sebagai *first surface* dan sisi *blank* tipis sebagai *second surface*. Kemudian pada *constraint enforcement method* pilih *surface to surface*.

k). **Amplitudes modul ABAQUS/CAE**

Modul *amplitudes* digunakan untuk mengatur frekuensi dan amplitudo pada saat simulasi. Berikut langkah-langkahnya :

1. Klik dua kali pada modul *amplitudes* pilih *smooth step, continue*
2. Pada edit *amplitudes* pilih *step time* dan masukkan angka dibawah ini.

<i>Time/ frequency</i>	<i>Amplitude</i>
0	0
0.004	1

l). **Load Modul ABAQUS/CAE**

Modul *load* digunakan untuk menentukan jenis beban yang dikenakan pada model.

1. Klik dua kali pada modul *load*, beri nama gaya *holder, step* dipilih *holder* kebawah, pilih katagori *mechanical* dan pilih *concentraced force,continue*
2. Pada *region selection* pilih *Rp-holder, continue*. Pada *dialog box edit load* masukkan harga pada *CF3* = -19600. dan pilih OK.

Selain itu pada modul *load* bisa untuk menentukan *boundary conditions* pada benda yang dianalisis.. Total *boundary condition* dalam simulasi ini sebanyak delapan belas *boundary conditions*.

Nama	Step	Type	Region	Boundary conditon
BCS				

BC 1	<i>Initial</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Holder</i>	UR1,UR2,UR3
BC 2	<i>Initial</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Punch</i>	U1, U2, U3
BC 3	<i>Initial</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Holder</i>	U1, U2, U3
BC 4	<i>Initial</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Punch</i>	UR1,UR2,UR3
BC 5	<i>Initial</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Dies</i>	U1, U2, U3
BC 6	<i>Initial</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Dies</i>	UR1,UR2,UR3
BC 7	<i>holder ke bawah</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Holder</i>	U3 = -0.00032
BC 8	<i>Punch&holder dng gaya</i>	<i>Displacement/rotation</i>	<i>Rp-Punch</i>	U3 = - 0.04

m). Mesh Modul ABAQUS/CAE

Modul *Mesh* dipergunakan untuk mengontrol pembuatan *mesh* pada model. Jumlah *node* dan *element* bisa dikontrol dengan menggunakan *mesh control*, termasuk bentuk *element mesh* serta bagaimana penempatan jumlah *nodenya*. *Mesh* memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan keakuratan analisis dan simulasi, karena jumlah atau *node* yang diberikan pada model akan mempengaruhi ketelitian hasil simulasi. Untuk mencapai hal ini biasanya bagian yang diteliti diberikan jumlah *element* yang lebih banyak daripada bagian yang diteliti.

1. Pada modul *part*, klik tanda (+), *double* klik *mesh*.
2. Pada menu bar, pilih *mesh* dan pilih *elemen type*, dan ubah *element library*, diganti dengan *explicit*, pilih *shell*, OK
3. Pada menu bar, klik *seed* dan pilih *part* dan masukkan 0.0025 pada *seed size*.
4. Pada menu bar, klik *Mesh* dan pilih *part*, klik *yes* pada *promp area*.
5. Diulangi untuk *blankholder seed size* = 0.005, pada *Punch* = 0.005, pada *Dies* = 0.007 .

n). Job Modul ABAQUS/CAE

Modul *Job* berfungsi untuk mendeskripsikan model kemudian diserahkan kepada program *ABAQUS* untuk melakukan analisa *numeric*. Pada modul ini bisa dikontrol apakah simulasi yang dilakukan berhasil atau tidak, jika terjadi *error message* di dalam *prompt area* maka bisa kembali ke modul sebelumnya untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi selama proses *interaksi numeric* yang dilakukan oleh *ABAQUS solver*. Berikut langkah-langkahnya :

1. *Double* klik modul *job*, masukkan nama *deep-drawing* pada kotak nama, *continue*, OK
2. Klik kanan pada *deep-drawing* tadi dan klik *submit*.
3. Klik kanan pada *deep-drawing*, dan pilih *monitor* untuk memonitor jalanya proses *running*.

o). Visualization Modul ABAQUS/CAE

Modul Visualisasi berfungsi untuk menampilkan hasil simulasi yang dinyatakan berhasil di dalam *ABAQUS Explicit* dan *ABAQUS Solver* input *file*. Disini bisa dilihat tampilan model yang telah dibuat dalam bentuk animasi gerak. Pengamatan dapat dilakukan pada model meliputi daerah yang mengalami penyerapan energi yang tinggi, deformasi yang dialami benda uji. Dari modul Visualisasi dapat ditampilkan grafik yang menjadi acuan untuk melakukan analisis. Keluaran yang diinginkan bisa ditampilkan dalam bentuk grafik

1. Klik kanan pada *deep-drawing*, pilih *result*.
2. Plot model bentuk sebelum deformasi dan sudah terdeformasi.
3. Pada menu bar, pilih *tool, display group, manager, create, part instance, blank*, klik *replace*.
4. Blank yang terdeformasi akan terlihat.

p). Visualisasi Grafik

Dari modul visualisasi dapat ditampilkan grafik yang menjadi acuan untuk melakukan analisis. Keluaran yang diinginkan bisa ditampilkan dalam bentuk grafik. Berikut cara menampilkan grafik hasil simulasi.

1. Pilih modul *history output request*, lalu klik kanan dan pilih edit.
2. Pada domain pilih *set* dan *rp-punch*.
3. Pada *output variables*, pilih *displacement/velocity/acceleration*, *U,translation and rotations*, kemudian pilih U2.
4. Pilih *forces/reactions*, *RF*, *reaction forces and moment*, kemudian pilih *RF2*.
5. Ok

q). Visualisasi Video

Dari modul visualisasi dapat ditampilkan / diimport ke dalam bentuk video dengan format AVI. Berikut cara mengubah file ke dalam bentuk video:

1. Dalam modul *visualization*, klik *animate* kemudian pilih *save as*.
2. Tentukan folder untuk menyimpan hasil animasi pada *file name*.
3. Terakhir klik ok.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas produk hasil *deep drawing* dari pelat jenis *tailored blank*. Sebelum dilakukan uji *deep drawing* maka terlebih dulu dilakukan uji tarik dengan tujuan untuk mendapatkan sifat elastis dan plastis dari material. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja ST 37. penelitian ini dikhususkan pada proses simulasi yang menggunakan paket *software* Abaqus, sebagai bagian dari validasi terhadap hasil penelitian dengan metode eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya.

4.1. Hasil Uji Tarik

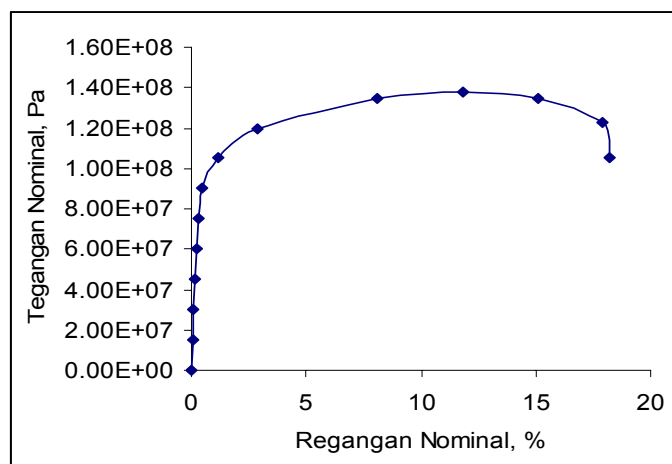
Uji tarik dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan sifat elastis (*Modulus Young, E*) dan sifat plastis (*Yield stress* dan *Plastic strain*) dari material. Dengan mempertimbangkan *rolling direction* pada proses pembentukannya, maka uji tarik dilakukan dengan tiga sudut sambungan yang berbeda yaitu 0°, 45°, dan 90°. Variabel yang diperoleh kemudian dirata-rata.

4.1.1 Hasil Uji Tarik dengan Sudut Sambungan 0°

a. Hasil eksperimen

Gambar 4.1.berikut ini adalah nilai nominal hasil uji tarik dari pelat baja ST 37 dengan sudut sambungan 0°. *Engineering stress-strain* sangat berguna pada penggunaan

desain konstruksi. Tetapi harus dipahami bahwa perhitungan *engineering stress-strain* adalah berdasarkan dimensi awal spesimen, dan tidak memperhitungkan perubahan dimensi akibat terkena beban. Sehingga ketika benda mengalami deformasi plastis perhitungan *engineering stress-strain* hanya merupakan perkiraan saja. Untuk kebanyakan desain konstruksi, perkiraan pada *engineering stress-strain* ini tidak terlalu menjadi masalah karena pada aplikasi konstruksi tidak akan mentolerir terjadinya deformasi plastis. Tetapi pada proses pembentukan logam akan menekankan pada situasi deformasi plastis sehingga penggunaan *engineering stress-strain* tidak dapat diterima. Untuk mengatasi masalah ini digunakan perhitungan tegangan-regangan sebenarnya (*true stress-strain*). Dengan menggunakan parameter yang didapatkan dari tabel *engineering stress-strain* maka dapat diubah menjadi tabel tegangan-regangan sebenarnya seperti di bawah ini:



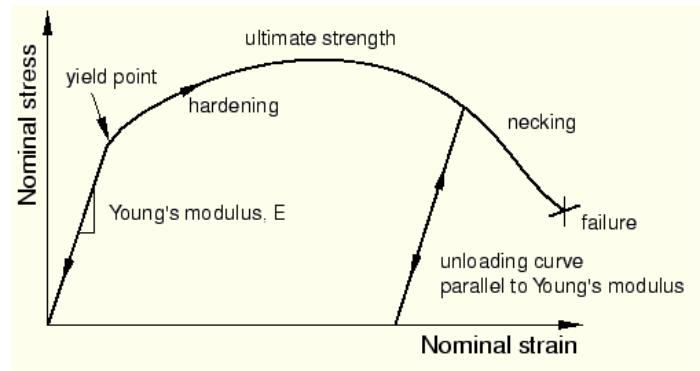
Gambar 4.1. Diagram tegangan regangan nominal sudut sambungan pelat 0°

Untuk memudahkan proses konversi dari nilai engineering ke dalam nilai sebenarnya (*true stress-strain*) maka dibuatkan data dalam bentuk nilai digitalnya, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.1. Nilai tegangan – regangan nominal (*engineering stress-strain*) sudut sambungan pelat 0°

Tegangan (Pa)	Regangan (%)
0	0
15.10 ⁶	0.05
30.10 ⁶	0.1
45.10 ⁶	0.15
60.10 ⁶	0.2
75.10 ⁶	0.3
90.10 ⁶	0.5
105.10 ⁶	1.2
120.10 ⁶	2.9
135.10 ⁶	8.1
138.10 ⁶	11.8
135.10 ⁶	15.1
123.10 ⁶	17.9
105.10 ⁶	18.2

Pelat logam ketika mengalami pembebanan akan mengalami regangan yang apabila berlanjut maka akan tegangan yang terjadi menjadi tidak linear dengan pertambahan regangan, seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Karakteristik hubungan

Tegangan (*stress*) – Regangan (*strain*), (marciniak, 2002)

Pendefinisian Plastisitas

Definisi plastisitas dalam ABAQUS harus menggunakan *true stress* dan *true strain*. ABAQUS memerlukan informasi data tersebut pada input file.

Seringkali data material yang ada dalam bentuk *nominal stress* dan *nominal strain*, sehingga perlu dikonversi dulu ke bentuk *true stress* dan *true strain*.

Nominal strain dihitung dari persamaan

$$\varepsilon_{\text{nom}} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - \frac{l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

True strain kemudian dapat dihitung dari nominal strain menggunakan:

$$\varepsilon = \ln (1+ \varepsilon_{\text{nom}})$$

Dengan menganggap volumetric deformation diabaikan, maka

$$l_o A_o = I A$$

Sehingga penampang yang terjadi dari penampang awal menjadi

$$A = A_o \frac{l_o}{l}$$

Dengan demikian dapat diperoleh definisi *true stress* menjadi

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_o} \frac{l}{l_o} = \sigma_{\text{nom}} \left(\frac{l}{l_o} \right)$$

Dimana

$$\frac{l}{l_o}$$

atau yang dapat ditulis juga dalam bentuk

$$1 + \varepsilon_{\text{nom}}$$

Maka *true stress* dapat dihitung dari *nominal stress* dan *nominal strain*:

$$\sigma = \sigma_{\text{nom}} (1 + \varepsilon_{\text{nom}})$$

Dekomposisi *Plastic Strain*

Regangan yang diperoleh dari material test yang digunakan untuk mendefinisikan perilaku plastik bukanlah *plastic strain* pada material, tetapi berupa *total strain* yang terjadi.

Oleh karena itu harus dilakukan dekomposisi terhadap *total strain* menjadi komponen *elastic strain* dan *plastic strain*. Ilustrasi dekomposisi total strain seperti pada Gambar 4.. Komponen *plastic strain* diperoleh dengan mengurangi *total strain* dengan *elastic strain* yang besarnya adalah *true stress* dibagi dengan *Young's modulus*.

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon^t - \varepsilon^{el} = \varepsilon^t - \frac{\sigma}{E}$$

Dimana

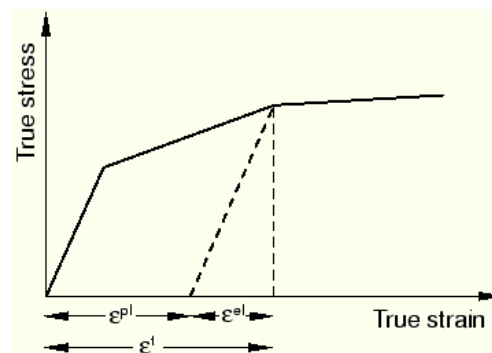
ε^{pl} adalah *true plastic strain*,

ε^t adalah *true total strain*,

ε^{el} adalah *true elastic strain*,

σ adalah *true stress*, dan

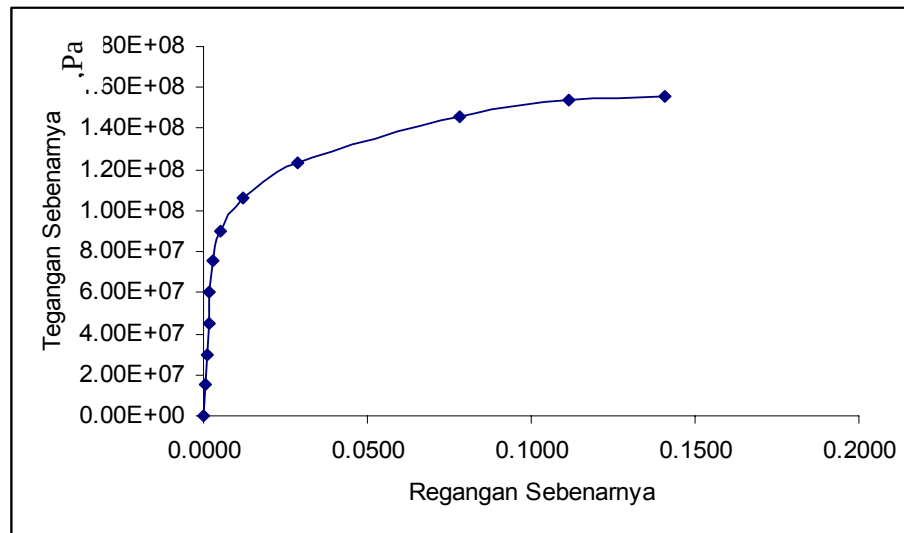
E adalah *Young's modulus*.



Gambar 4.3: Dekomposisi *total strain* ke komponen plastik dan elastik, (marciniak, 2002)

Tabel 4.2. Nilai tegangan – regangan sebenarnya (*true stress - true strain*)

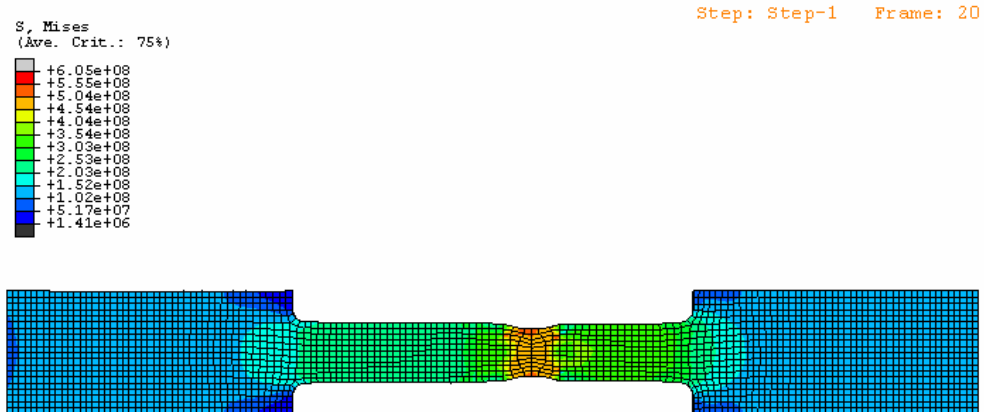
Tegangan nominal (Pa)	Regangan nominal	Regangan sebenarnya	Tegangan sebenarnya (<i>Yield stress</i>) (Pa)	<i>Plastic strain</i>
0.00E+00	0.0000	0.0000	0.00E+00	
1.50E+07	0.0005	0.0005	1.50E+07	
3.00E+07	0.0010	0.0010	3.00E+07	
4.50E+07	0.0015	0.0015	4.51E+07	
6.00E+07	0.0020	0.0020	6.01E+07	
7.50E+07	0.0030	0.0030	7.52E+07	
9.00E+07	0.0050	0.0050	9.05E+07	0.0000
1.05E+08	0.0120	0.0119	1.06E+08	0.0061
1.20E+08	0.0290	0.0286	1.23E+08	0.0218
1.35E+08	0.0810	0.0779	1.46E+08	0.0698
1.38E+08	0.1180	0.1115	1.54E+08	0.1030
1.35E+08	0.1510	0.1406	1.55E+08	0.1321
1.23E+08	0.1790	0.1647	1.45E+08	0.1567
1.05E+08	0.1820	0.1672	1.24E+08	0.1604



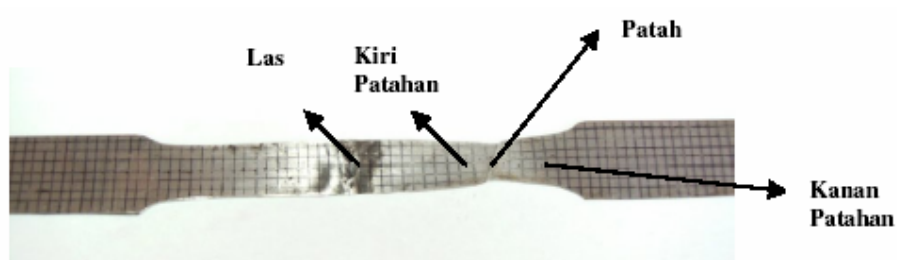
Gambar 4.4. Diagram tegangan regangan sebenarnya
Sudut sambungan pelat 0^0

b. Hasil Simulasi

Gambar 4.2. berikut ini adalah hasil simulasi uji tarik terhadap material *tailored blank* yang menggunakan paket *software* Abaqus. Setelah melalui studi konvergensi, hasil simulasi menunjukkan bahwa pelat akan memanjang sampai mendekati patah. Titik lelah yang menjadi awal patah terjadi pada bagian pelat yang lebih tipis, yaitu dengan tebal 0.8 mm. fenoena ini sudah sesuai dengan hasil eksperimen, dimana patah juga terjadi pada daerah pelat tipis. Di samping itu kejadian ini mungkin sesuai dengan teori bahwa pelat tipis akan mengalami lelah pertama kali sejak menerima gaya yang lebih besar karena luas penampangnya lebih kecil.



a).



b).

Gambar 4.5. Hasil simulasi produk uji tarik *tailored blank* dengan sudut sambungan 0^0

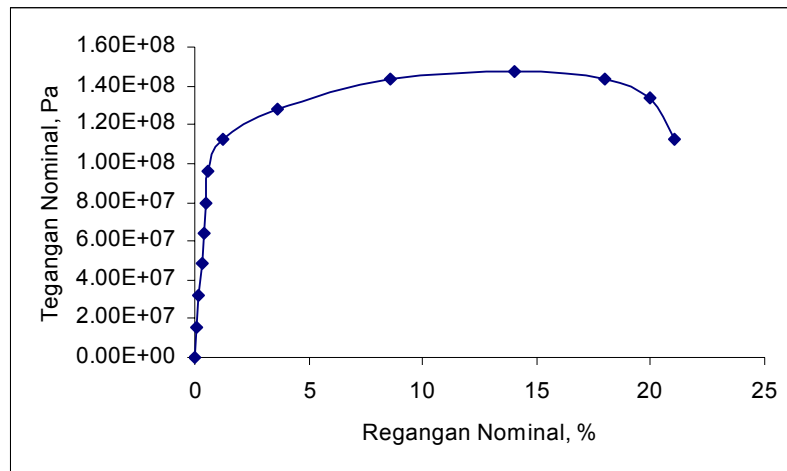
a). Hasil simulasi

b). Hasil eksperimen

4.1.2. Hasil Uji Tarik dengan Sudut Sambungan 45^0

a. Hasil Eksperimen

Gambar 4.5 berikut ini adalah nilai nominal hasil uji tarik dari pelat baja ST 37 dengan sudut sambungan 45^0 .



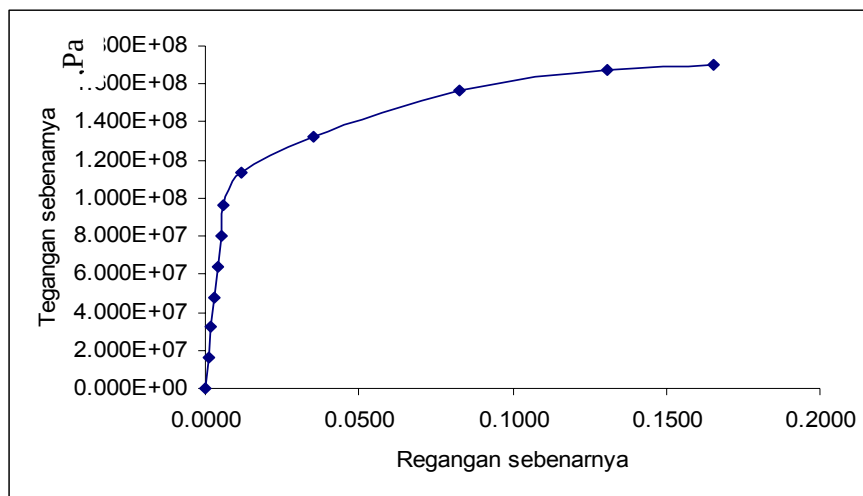
Gambar 4.6. Diagram tegangan regangan nominal sudut sambungan pelat 45°

Tabel 4.3. Nilai tegangan – regangan nominal (*engineering stress-strain*) sudut sambungan pelat 45°

Tegangan (Pa)	Regangan (%)
0	0
16.10 ⁶	0.1
32.10 ⁶	0.2
48.10 ⁶	0.3
64.10 ⁶	0.4
80.10 ⁶	0.5
96.10 ⁶	0.6
112.10 ⁶	1.2
128.10 ⁶	3.6
144.10 ⁶	8.6
147.10 ⁶	14
144.10 ⁶	18
134.10 ⁶	20
112.10 ⁶	21

Tabel 4.4. Nilai tegangan – regangan sebenarnya (*true stress-strain*)

Tegangan nominal (Pa)	Regangan nominal	Regangan sebenarnya	Tegangan sebenarnya (Yield stress) (Pa)	<i>Plastic strain</i>
0.00E+00	0.0000	0.0000	0.000E+00	
1.60E+07	0.0010	0.0010	1.602E+07	
3.20E+07	0.0020	0.0020	3.206E+07	
4.80E+07	0.0030	0.0030	4.814E+07	
6.40E+07	0.0040	0.0040	6.426E+07	
8.00E+07	0.0050	0.0050	8.040E+07	
9.60E+07	0.0060	0.0060	9.658E+07	
1.12E+08	0.0120	0.0119	1.133E+08	0.0000
1.28E+08	0.0360	0.0354	1.326E+08	0.0214
1.44E+08	0.0860	0.0825	1.564E+08	0.0660
1.47E+08	0.1400	0.1310	1.676E+08	0.1134
1.44E+08	0.1800	0.1655	1.699E+08	0.1476
1.34E+08	0.2000	0.1823	1.608E+08	0.1654
1.12E+08	0.2100	0.1906	1.355E+08	0.1764

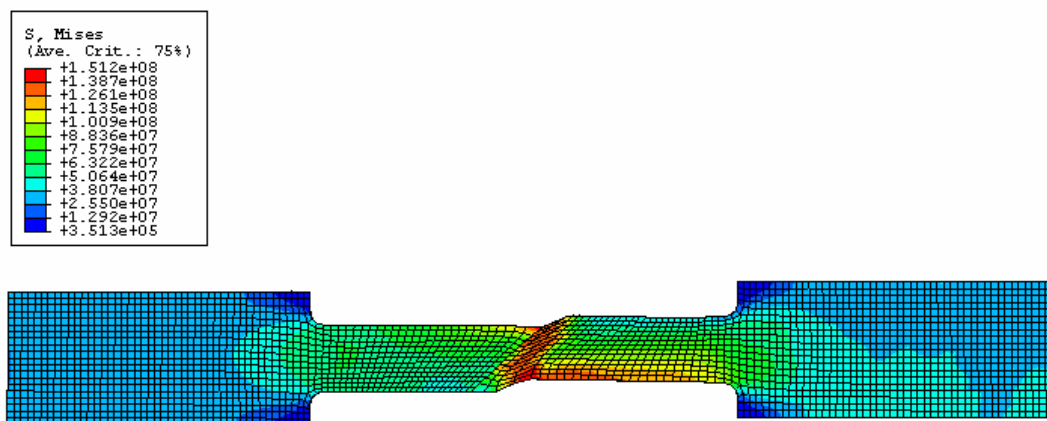


Gambar 4.7. Diagram tegangan regangan sebenarnya
Sudut sambungan pelat 45⁰

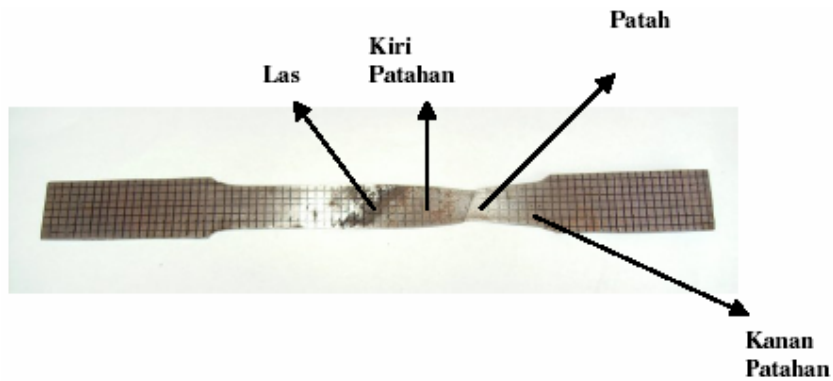
b. Hasil Simulasi

Gambar 4.5. berikut ini adalah hasil simulasi uji tarik terhadap material *tailored blank* yang menggunakan paket

software Abaqus. Setelah melalui studi konvergensi, hasil simulasi menunjukkan bahwa pelat akan memanjang sampai mendekati patah. Titik lelah yang menjadi awal patah terjadi pada bagian pelat yang lebih tipis, yaitu dengan tebal 0.8 mm. Fenomena ini sudah sesuai dengan hasil eksperimen, dimana patah juga terjadi pada daerah pelat tipis. Kejadian ini mungkin sesuai dengan teori bahwa pelat tipis akan mengalami lelah pertama kali sejak menerima gaya yang lebih besar karena luas penampangnya lebih kecil. Di samping itu, patah juga membentuk sudut 45° yang berarti bahwa luluh akan terjadi pada saat tegangan geser maksimum sesuai dengan teori *Tresca*.



a).



b)

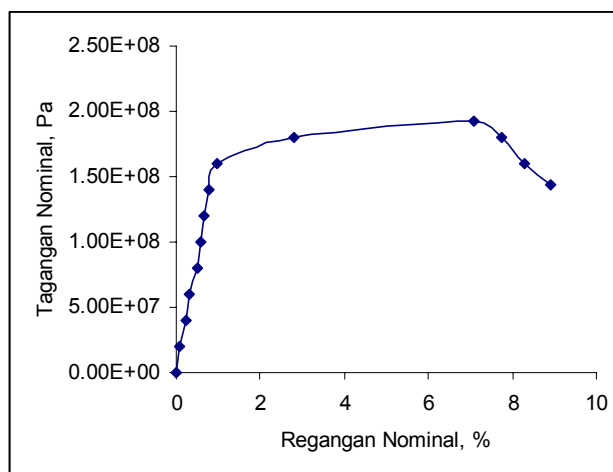
Gambar 4.8. Hasil simulasi produk uji tarik *tailored blank* dengan sudut sambungan 45°

- a). Hasil simulasi
- b). Hasil eksperimen

4.1.3. Hasil Uji Tarik dengan Sudut Sambungan 90°

Gambar 4.5 berikut ini adalah nilai nominal hasil uji tarik dari pelat baja ST 37 dengan sudut sambungan 45° .

a. Hasil Eksperimen



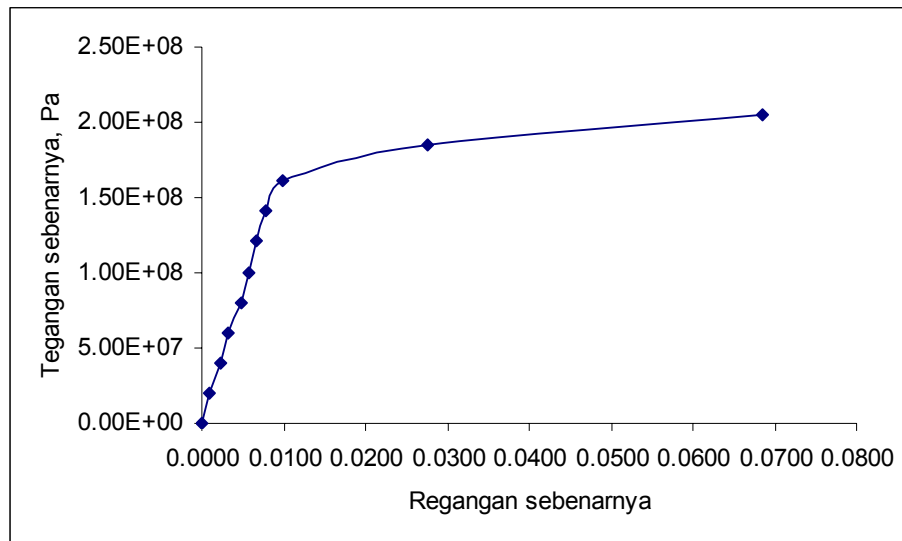
Gambar 4.9. Diagram tegangan regangan nominal sudut sambungan pelat 90⁰

Tabel 4.5. Nilai tegangan – regangan nominal (*engineering stress-strain*) sudut sambungan pelat 90⁰

Tegangan (Pa)	Regangan (%)
0	0.00
20.10 ⁶	0.09
40.10 ⁶	0.24
60.10 ⁶	0.33
80.10 ⁶	0.49
100.10 ⁶	0.58
120.10 ⁶	0.66
140.10 ⁶	0.78
160.10 ⁶	0.99
180.10 ⁶	2.80
192.10 ⁶	7.08
180.10 ⁶	7.75
160.10 ⁶	8.30
144.10 ⁶	8.90

Tabel 4.6. Nilai tegangan – regangan sebenarnya (*true stress-strain*)

Tegangan nominal (Pa)	Regangan nominal	Regangan sebenarnya	Tegangan sebenarnya (Yield stress) (Pa)	<i>Plastic strain</i>
0.00E+00	0.0000	0.0000	0.00E+00	
2.00E+07	0.0009	0.0009	2.00E+07	
4.00E+07	0.0024	0.0024	4.01E+07	
6.00E+07	0.0033	0.0033	6.02E+07	
8.00E+07	0.0049	0.0049	8.04E+07	
1.00E+08	0.0058	0.0058	1.01E+08	
1.20E+08	0.0066	0.0066	1.21E+08	
1.40E+08	0.0078	0.0078	1.41E+08	
1.60E+08	0.0099	0.0099	1.62E+08	0.0000
1.80E+08	0.0280	0.0276	1.85E+08	0.0163
1.92E+08	0.0708	0.0684	2.06E+08	0.0559
1.80E+08	0.0775	0.0746	1.94E+08	0.0628
1.60E+08	0.0830	0.0797	1.73E+08	0.0692
1.44E+08	0.0890	0.0853	1.57E+08	0.0757

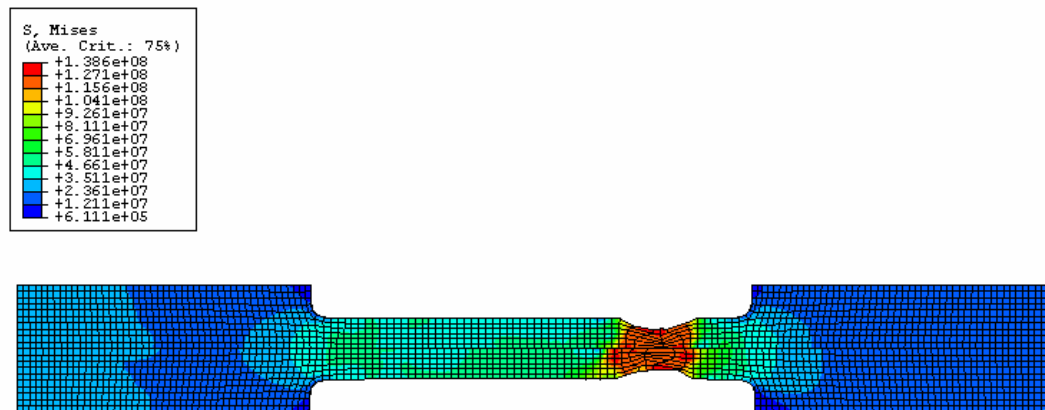


Gambar 4.10. Diagram tegangan regangan sebenarnya
Sudut sambungan pelat 90⁰

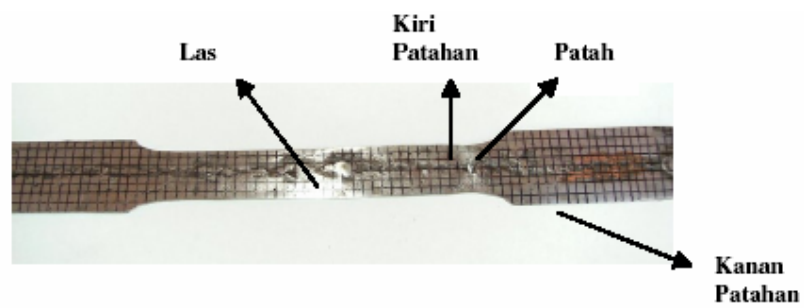
Gambar 4.11. berikut ini adalah hasil simulasi uji tarik

terhadap material tailored blank yang menggunakan paket *software* Abaqus. Setelah melalui studi konvergensi, hasil simulasi menunjukkan bahwa pelat akan memanjang sampai mendekati patah. Titik lelah yang menjadi awal patah terjadi pada bagian pelat yang lebih tipis, yaitu dengan tebal 0.8 mm. Fenoena ini sudah sesuai dengan hasil eksperimen, dimana patah juga terjadi pada daerah pelat tipis. Kejadian ini mungkin sesuai dengan teori bahwa pelat tipis akan mengalami lelah pertama kali sejak menerima gaya yang lebih besar karena luas penampangnya lebih kecil. Di samping itu, patah juga membentuk sudut 45 ° yang berarti bahwa luluh akan terjadi pada saat tegangan geser maksimum sesuai dengan teori *Tresca*.

b. Hasil Simulasi



(a)



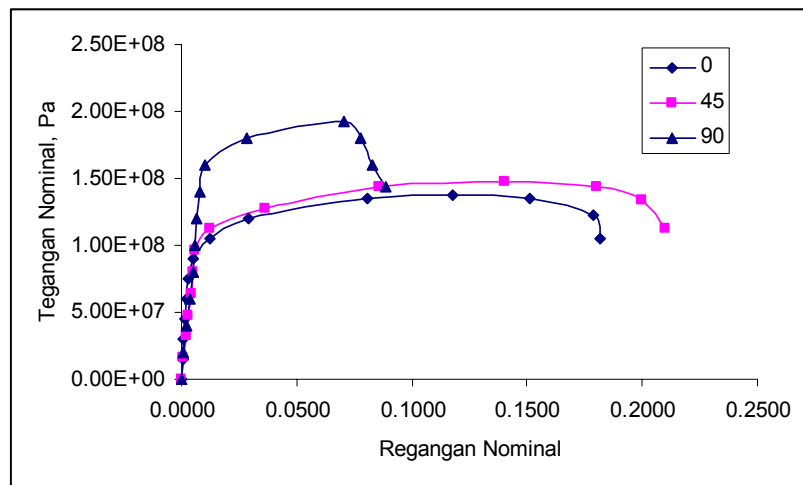
(b)

Gambar 4.11. Hasil simulasi produk uji tarik *tailored blank* dengan sudut sambungan 90^0

a). Hasil simulasi

b). Hasil eksperimen

Hasil Kombinasi grafik tegangan regangan nominal dari tiga sudut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.12.

Untuk keperluan *input file* pada proses *deep drawing* maka data ketiga sudut harus diambil rata-ratanya. Karena kesulitan dalam pengambilan data maka pada penelitian ini diasumsikan bahwa *input file* yang mendekati sifat elastis plastis rata-rata adalah pada sudut 45^0 .

Sifat elastis:

c. *Modulus Young*, $E = 9.502 \text{ E}+09 \text{ Pa}$

d. *Poisson ratio*, $\nu = 0.3$

Sifat plastis:

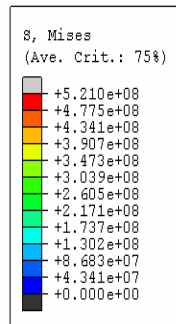
Table 4.7. Nilai plastisitas material

Tegangan sebenarnya (<i>Yield stress</i>)	<i>Plastic strain</i>
1.133E+08	0.0000
1.326E+08	0.0214
1.564E+08	0.0660
1.676E+08	0.1134
1.699E+08	0.1476
1.608E+08	0.1654
1.355E+08	0.1764

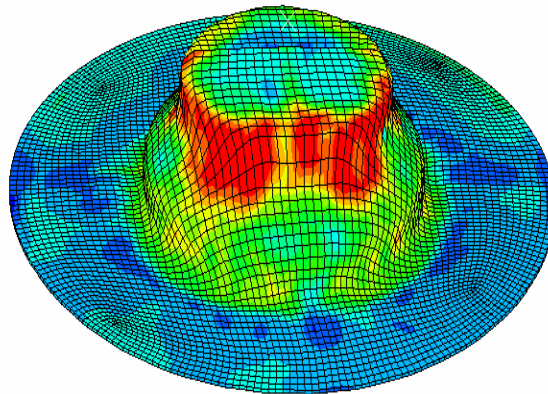
4.2. Hasil Uji Deep Drawing

Berikut ini adalah hasil pengujian terhadap proses deep drawing yang menggunakan pelat jenis tailored blank dengan metode eksperimen dan simulasi yang menggunakan paket software Abaqus. Pelat mula-mula berbentuk dua kali setengah lingkaran dengan masing-masing mempunyai ketebalan 1.0 mm (pelat tebal) dan 0.8 mm (pelat tipis).

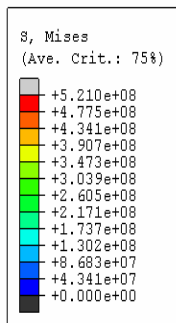
4.2.1. Hasil simulasi



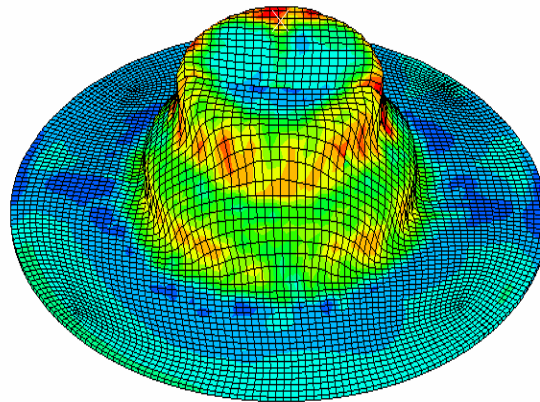
Step: "punch k Frame: 20



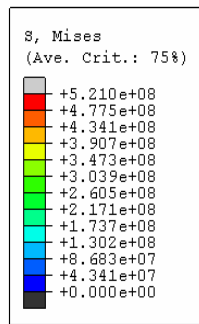
(a)



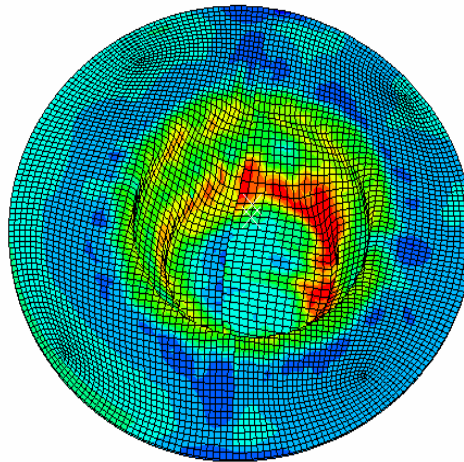
Step: "punch k Frame: 20



(b)



Step: "punch k Frame: 20



1

(c)

Gambar 4.1.3. Hasil simulasi proses *deep drawing* dengan pelat *tailored blank*
a). Pelat tipis di depan
b). Pelat tebal di depan
c). Pelat *tailored blank* tampak dari atas

Dari hasil pengujian eksperimen dan simulasi terdapat sedikit perbedaan. Adapun hasil proses *deep drawing* dengan pelat *tailored blank* di atas dapat dijelaskan bahwa:

- a. Secara umum, *deep drawing* adalah proses dimana pelat (*blank*) dipaksa mengalir melalui sebuah *dies* dengan beban *punch* sehingga membentuk komponen silindris. Material akan mengalami regangan yang cukup besar sepanjang diameternya.
- b. Bagian yang paling besar meregangnya adalah pada bagian dinding yang tidak bersentuhan dengan *dies*. Pada bagian ini pelat akan mengalami penipisan atau *ironing*. Penipisan dapat menjadikan pelat mengalami

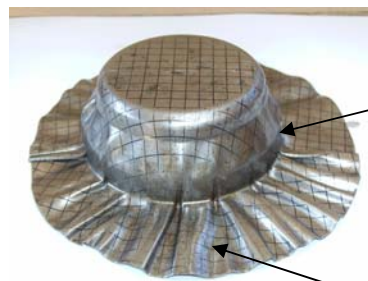
retak dan kemudian pecah setelah mencapai kekuatan tarik maksimum pelat.

- c. Bagian yang paling kritis dimana sering terjadi pecah adalah pada bagian bawah yang bersentuhan dengan radius *punch*. Pada bagian ini sering terjadi pecah karena tekanan *bending* yang sangat besar tergantung dari radius *punch*.
- d. Pada bagian dinding; berdasarkan hasil pengujian memberikan keterangan bahwa pada pelat dengan ketebalan 0,8 mm (pelat tipis) terjadi cacat *wrinkling* pada dinding *cup*. Sedangkan pada ketebalan 1 mm tidak terjadi. Hal ini terjadi karena pada ketebalan 0,8 mm terdapat celah (*clearance*) antara *punch*, *blank*, dan *dies* sehingga terjadi regangan positif (tarik) dan regangan negatif (tekan) yang mengakibatkan cacat kerut pada dinding *cup*.
- e. Pada bagian atas *cup* (sisir) tidak terdapat cacat *wrinkling* seperti tampak pada hasil eksperimen. Cacat *wrinkling* yang terjadi pada hasil eksperimen terjadi karena pemilihan pegas pada *blank holder* kurang tepat, sehingga *blank holder* tidak mampu menjepit *blank* dengan baik. Hasil eksperimen pada bagian pelat tipis cenderung menghasilkan cacat *wrinkling* yang lebih

besar sedangkan pada bagian pelat tipis jumlah kerutan (*wrinkling*) lebih sedikit.

4.2.2. Hasil eksperimen

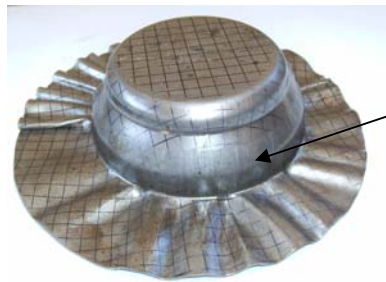
Gambar berikut merupakan hasil eksperimen sebelumnya oleh Azam Suryo pada tahun 2008. Bagian ini ditampilkan lagi untuk keperluan validasi hasil penelitian dengan metode simulasi. Tampak dari gambar tersebut bahwa hasil simulasi lebih sempurna dari hasil eksperimen karena *blank holder* telah menjepit *blank* dengan tepat sehingga cacat *wrinkling* pada bagian atas *cup* dapat



diatasi .

Lajur Las

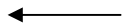
Wrinkling pada dinding *cup*
pada bagian pelat tipis



Dinding silinder *cup* pada pelat tebal
tidak mengalami cacat *wrinkling*



Wrinkling pada bagian pelat tipis

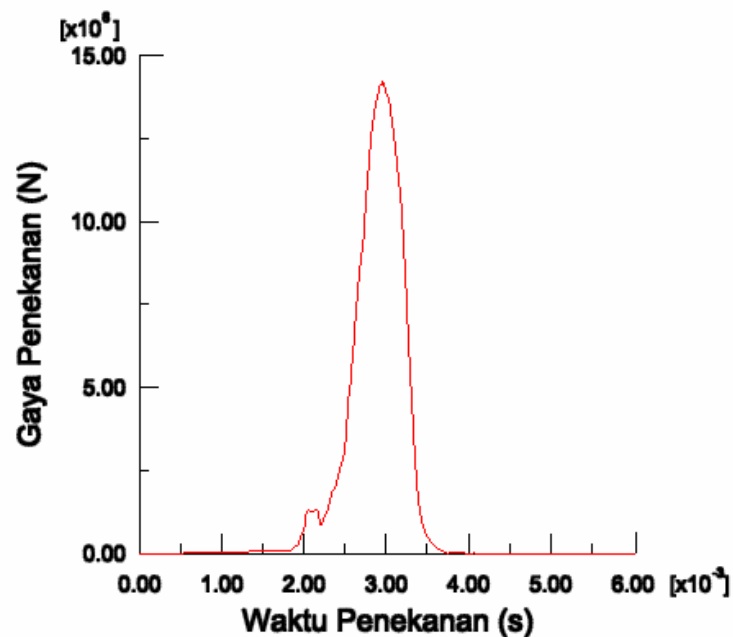


Wrinkling pada bagian pelat tebal

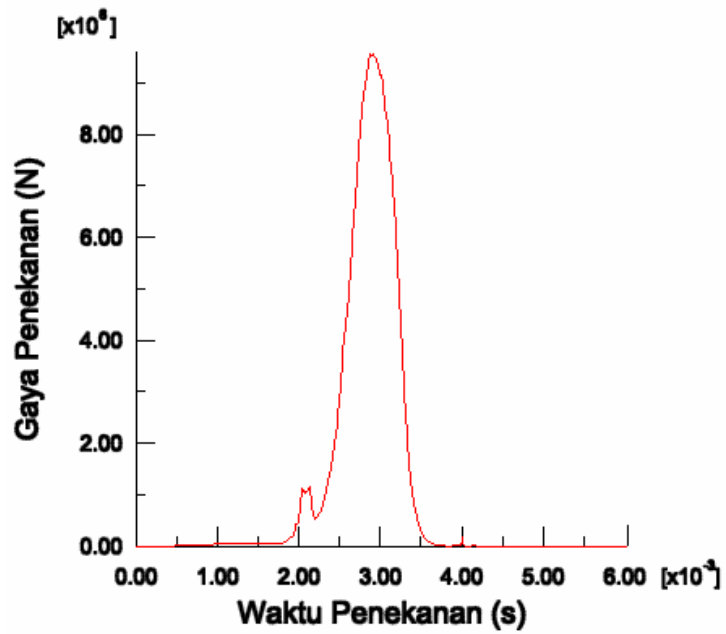
Gambar 4.13. Hasil eksperimen proses *deep drawing* dengan pelat *tailored blanks*

4.2.3. Analisis grafik gaya penekanan terhadap waktu penekanan

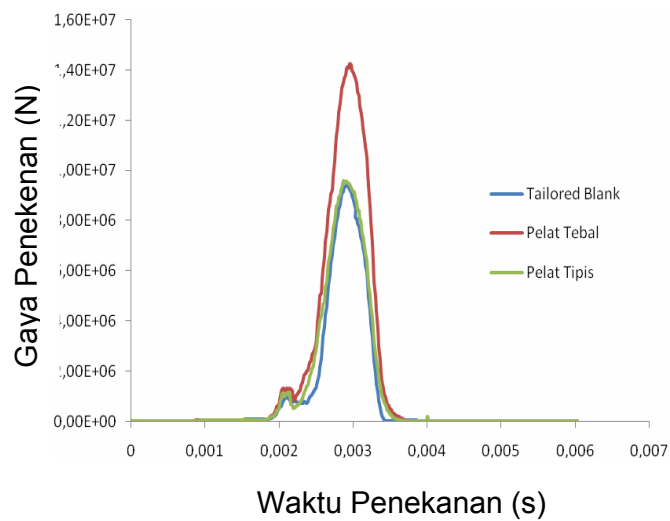
Dari analisis perbandingan grafik gaya penekanan terhadap waktu penekanan untuk material *tailored blank* dan pelat homogen menunjukkan bentuk seperti gunung, dan hal ini sudah sesuai dengan teori grafik penekanan pada proses *deep drawing*. Gambar grafik *punch load versus punch displacement* untuk masing-masing jenis pelat dapat dilihat pada gambar 4.15-4.16. Sedangkan gabungan dari ketiga jenis pelat dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.15. Grafik gaya penekanan terhadap waktu pada pelat homogen 1mm



Gambar 4.16. Grafik gaya penekanan terhadap waktu pada pelat homogen 0,8 mm

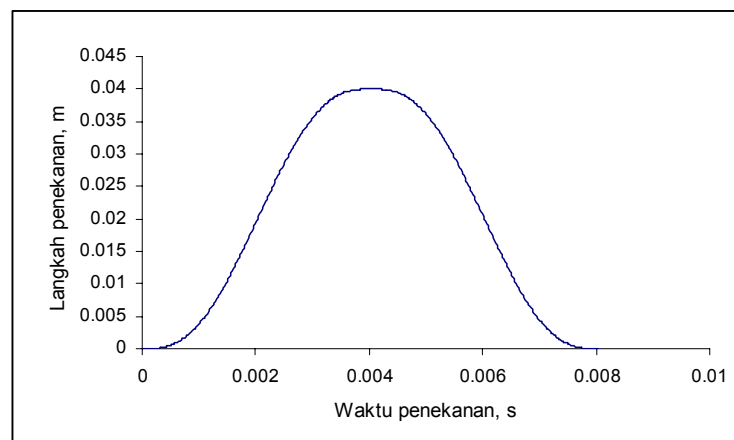


Gambar 4.17. Grafik gaya penekanan terhadap waktu pada pelat tipe *tailored blank*

Besar gaya penekanan pelat *tailored blank* berada sedikit di bawah pelat tebal homogen dan sedikit di atas pelat tipis homogen.

Hal ini dikarenakan sebagian komponen pelat *tailored blank* adalah pelat tebal 1 mm dan sebagian lagi lebih tipis, yaitu 0.8 mm sehingga membutuhkan gaya yang lebih sedikit. Kejadian ini sudah sesuai karena sambungan las di antara pelat tebal dan tipis pada pemodelan dengan Abaqus diasumsikan tanpa material apapun, tetapi hanya tersambung secara kuat. Besar gaya penekanan mungkin akan lain jika pada sambungan di asumsikan terdapat material lain sebagai bahan sambungan las.

Untuk mengetahui bagaimana langkah penekan (*Punch*) maka berikut ini ditampilkan hasil analisis langkah penekanan terhadap waktu penekanan yang menunjukkan bahwa gerak *punch* adalah secara perlahan seperti ditunjukkan pada grafik, atau dalam Abaqus dimodelkan sebagai gerak ramp



Gambar 4.16. Grafik langkah penekanan terhadap waktu

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Hasil simulasi uji tarik menunjukkan bahwa pelat *tailored blank* akan memanjang sampai mendekati patah, dan titik lelah yang menjadi awal patah terjadi pada bagian pelat yang lebih tipis, yaitu dengan tebal 0,8 mm. Kondisi ini mungkin sesuai dengan teori bahwa pelat tipis akan mengalami lelah pertama kali sejak menerima gaya yang lebih besar karena luas penampangnya lebih kecil. Kejadian hasil ini telah sesuai dengan hasil eksperimen.
2. Dari hasil simulasi proses *deep drawing* dengan pelat *tailored blank* diperoleh informasi bahwa pada bagian atas *cup* (sisir) tidak terdapat cacat *wrinkling* yang sebelumnya tampak pada hasil eksperimen. Cacat *wrinkling* yang terjadi pada hasil eksperimen terjadi karena pemilihan pegas pada *blank holder* kurang tepat, sehingga *blank holder* tidak mampu menjepit *blank* dengan baik. Sedangkan pada simulasi, *blank holder* telah didesain mampu menjepit *blank* dengan baik.
3. Dari hasil pengujian eksperimen dan simulasi diperoleh informasi bahwa selama proses *deep drawing* dengan pelat *tailored blank* ditemukan bahwa pada pelat dengan ketebalan 0,8 mm (pelat tipis) terjadi cacat *wrinkling* pada dinding *cup*. Sedangkan pada ketebalan 1 mm tidak terjadi. Hal ini terjadi karena pada ketebalan

0,8 terdapat celah (*clearance*) antara *punch*, *blank*, dan *dies* sehingga terjadi regangan positif (tarik) dan regangan negatif (tekan) yang mengakibatkan cacat kerut pada dinding *cup*.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan suatu eksperimen yang mendukung dari simulasi *software*.
2. Perlu penggunaan komputer yang mempunyai *performance* yang *compatible* dalam melakukan simulasi supaya dapat ditampilkan hasil yang berkualitas baik.
3. Perlu ketekunan yang tinggi dalam melakukan simulasi dan tidak mudah menyerah.

DAFTAR PUSTAKA

- Andy. P., 2001. *Tailor Welded Blank Applications And Manufacturing*. Nort America
- Ahmad Hasnan. S., 2006. *Mengenal Proses Deep Drawing*. Jakarta
- Azam Suryo, 2008. *Analisis Draw Ability pada Deep Drawing Tailored Blanks dengan Metode Eksperimen*. Tugas Akhir S-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Cao. J and Kinsey. B., 2003. *An Analytical Model For Tailor Welded Blank Forming*. University of New Hampshire. Durham
- Chaparro, 2002., *Numerical Simulation Of Complex Large Deformation Processes.*, CEMUC, Portugal.
- Eugene D. Ostergaard., 1967. *Advanced Die Making*. Prentice Hall, New Jersey.
- Hutton V. David., 2004. *Fundamentals Of Finited Element Analysis*. New York.
- Kinsey, Song and Cao., 1999. *Analysis of Clamping Mechanism For Tailor Welded Blank Forming*. Northwestern University, Durham.
- Marciniak, Z., et.al., 2002., *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Butterworth - Heinemann, London.
- Singer, F. L., dan Andrew pytel, 1995, *Ilmu Kekuatan Bahan (Teori Kokoh Strength of Material)*, alih bahasa Darwin sebayang, edisi II, Erlangga, Jakarta.
- Siswanto. W.A., 2001. *Simulasi Springback Benchmark Problem Cross Member Numisheet 2005*. Tugas Akhir S-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Sharma. P.C., 2002. *A Text Book of Production Engineering*. S. Chand and Company Ltd. New Delhi.
- Shirani. M., 2006. *Initial Blank Design In Thermoplastic Reinforced Sheet Drawing Based On Sensitivity Analysis*. Tehran, iran.

Wu and Ying-Hui.,1996. *Determining Springback Amount of Steel Sheet Metal has 0,5 mm Thickness In Bending Dies*. Turkey.

<http://www.thefabricator.com>. Diakses 21 Desember 2008 Pada Pukul 19.30 WIB.

<http://www.oke.or.id>. Diakses 23 Desember 2008 pada pukul 14.07 WIB.